



**Universidad Autónoma de Ciudad Juárez**  
**Instituto de Ingeniería y Tecnología**  
**Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación**  
**Programa: Maestría en Cómputo Aplicado**

*“Marco de referencia para la creación de soluciones que involucren Internet de las Cosas”*

Reporte técnico que presenta como requisito para obtener el grado de  
**MAESTRO EN CÓMPUTO APLICADO**

Luis Alfredo Ortiz Santos

**Matrícula:** 194592

**Director:** Mtro. Luis Felipe Fernández Martínez

**Codirector:** Dr. Víctor Morales Rocha

Mayo de 2022, Cd. Juárez, Chihuahua

## Contenido

Índice de tablas .....	III
Índice de figuras.....	IV
Introducción .....	1
<b>CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
1.1.- Definición del problema.....	3
1.2.- Objetivo.....	4
1.3.- Objetivos específicos .....	4
1.4.- Justificación .....	4
1.5.- Metodología .....	5
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1.- Antecedentes de IoT .....	7
2.2.- Definición de IoT .....	8
2.3.- Características de IoT.....	9
2.4.- Componentes de un sistema de IoT .....	10
2.4.1.- Objetos .....	10
2.4.2.- Comunicación .....	11
2.4.3.- Modelos de cómputo.....	11
2.4.4.- Plataforma de cómputo para IoT.....	15
2.5.- Antecedentes de un marco de referencia.....	16
2.6.- Tipos de arquitecturas IoT .....	17
2.7.- Modelos de arquitecturas IoT .....	18
2.8.- Dominio de aplicación .....	27
2.8.1.- Dominio de aplicación del proyecto .....	29
2.9.- Impacto en la sociedad.....	32
<b>CAPÍTULO 3: MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>34</b>
3.1.- Especificación del marco de referencia.....	34
3.2.- Descripción del marco de referencia propuesto .....	35
3.2.1.- Capa de objetos .....	36
3.2.2.- Capa de tecnologías de red.....	40
3.2.3.- Capa de comunicación .....	44
3.2.4.- Capa de plataforma .....	46
3.2.5.- Capa de aplicación .....	48

CAPÍTULO 4: CASO DE APLICACIÓN #1: PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE HUERTOS URBANOS .....	51
4.1.- Planteamiento del problema del caso de aplicación.....	51
4.2.- Objetivo.....	52
4.3.- Objetivos específicos: .....	52
4.4.- Metodología .....	52
4.5.- Esquema para la implementación del marco de referencia propuesto en huertos de cultivo .....	53
4.6.- Capa objetos.....	54
4.7.- Capa tecnologías de red .....	55
4.8.- Capa de comunicación .....	56
4.9.- Capa plataforma .....	58
4.10.- Capa Aplicación .....	61
4.11.- Resultados .....	62
CAPÍTULO 5: CASO DE APLICACIÓN #2: MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE SENSORES EN LA REGIÓN PASO DEL NORTE.....	64
5.1.- Planteamiento del problema del caso de aplicación.....	64
5.2.- Objetivo.....	65
5.3.- Objetivos específicos: .....	65
5.4.- Metodología .....	65
5.5.- Esquema para la implementación del marco de referencia en medidores de la calidad del aire .....	66
5.6.- Capa de objetos .....	67
5.7.- Capa de tecnologías de red.....	68
5.8.- Capa de comunicación .....	68
5.9.- Capa de plataforma .....	69
5.10.- Capa de aplicación .....	70
5.11.- Resultados .....	73
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES .....	74
6.1.- Conclusiones .....	74
6.2.- Trabajos a futuro .....	76
Referencias.....	77
ANEXOS .....	85
Anexo 1: Instalación de plataforma Thingsboard .....	85
Anexo 2. Configuración de instancia en Amazon Web Services (AWS) .....	100
Anexo 3. Modelo del Léxico Extendido del Lenguaje .....	105
Anexo 4. Modelo conceptual .....	112

## Índice de tablas

Tabla 1. Modelos de cómputo en la nube. ....	13
Tabla 2. Proveedores de cómputo en la nube.....	14
Tabla 3. Modelo de 3 capas. ....	20
Tabla 4. Modelo de 5 capas. ....	22
Tabla 5. Modelo de 5 capas enfocado al sector de transportes. ....	23
Tabla 6. Modelo de 6 capas. ....	24
Tabla 7. Modelo de 7 capas. ....	26
Tabla 8. Modelo de cómputo en la niebla.....	27
Tabla 9. Porcentaje de interés en desarrollar iniciativas tecnológicas en la industria.....	33
Tabla 10. Tipos de sensores utilizados para la recopilación de datos.....	39
Tabla 11. Tipos de actuadores utilizados para realizar acciones.....	40
Tabla 12. Estándares y tecnologías de comunicación utilizadas en un sistema IoT. ....	42
Tabla 13. Comparación de tecnologías de comunicación para sistemas IoT ....	43
Tabla 14. Protocolos de aplicación utilizados en un sistema IoT. ....	45
Tabla 15. Dominios de aplicación para un sistema IoT.....	49
Tabla 16. Áreas de aplicación de IoT en sectores de impacto agrícola y ambiental ....	50
Tabla 17. Objetos utilizados. ....	54
Tabla 18. Características de plataformas IoT de código abierto.....	59
Tabla 19. Comparación de características principales en una plataforma IoT de código abierto.....	60
Tabla 20. Especificaciones técnicas del dispositivo PurpleAir PA-II ....	67

## Índice de figuras

Figura 1. Ejemplo de sensores .	10
Figura 2. Modelos de cómputo.	12
Figura 3. Ejemplos de arquitecturas IoT .	19
Figura 4. Ejemplo de arquitectura de 3 capas.	20
Figura 5. Dominios de aplicación de IoT.	28
Figura 6. Dispositivos conectados a Internet de las cosas de 2015 a 2025 (en miles de millones).	32
Figura 7. Comparación entre el modelo de 3 capas y el modelo de 5 capas.	34
Figura 8. Arquitectura conceptual de 5 capas.	35
Figura 9. Tipos de objetos.	37
Figura 10. Tecnologías de comunicación utilizadas en sistemas IoT.	41
Figura 11. Protocolos de aplicación utilizados en un sistema IoT.	44
Figura 12. Arquitectura de una plataforma IoT .	46
Figura 13. Dominios de aplicación de IoT .	48
Figura 14. Representación gráfica del prototipo para un invernadero inteligente .	53
Figura 15. Configuración física entre los objetos NodeMcu y DHT11 .	55
Figura 16. Código para establecer comunicación entre la red y el objeto.	56
Figura 17. Funcionamiento básico del protocolo MQTT .	57
Figura 18. Fragmento de código para publicación de datos.	57
Figura 19. Ediciones de Thingsboard.	61
Figura 20. Panel representando datos en tiempo real de un dispositivo.	62
Figura 21. Representación gráfica de un sistema de recolección y monitoreo de datos del medio ambiente.	66
Figura 22. Dispositivo PurpleAir PA-II .	67
Figura 23. Instalación de dispositivo PurpleAir.	68
Figura 24. Configuración de método para envío de datos de PurpleAir PA-II a la plataforma.	69
Figura 25. Plataforma ThingsBoard.	70
Figura 26. Ventana principal.	71
Figura 27. Ventana informativa.	72

## **Introducción**

Desde que se creó la internet, las formas en que se comparte información y conocimiento han sufrido grandes cambios. La transferencia de datos e información a través de una red pasó de ser únicamente de uso gubernamental a ser una de las tecnologías más utilizadas en la vida diaria de cada persona [1]. Hoy en día, contar con un dispositivo que pueda estar conectados a la red es indispensable [2]. Por lo que en un futuro próximo existirán más productos conectados a internet que personas en el mundo. Cuando hablamos de una gran cantidad de dispositivos conectados a internet con el fin de transmitir, procesar, almacenar o analizar información nos referimos a una infraestructura del Internet de las Cosas [3].

El trabajo que se presenta en este documento es un proyecto de investigación documental. Se trata del desarrollo de un marco de referencia diseñado para facilitar la creación e integración de sistemas que involucren el Internet de las Cosas( IoT por sus siglas en inglés) enfocado a las empresas o cualquier organización que desee implementar este tipo de sistemas orientado a los sectores de impacto económico ambiental y agrícola. Lo que se pretende es que las empresas puedan utilizar este marco de referencia con la finalidad de facilitar la implementación de tecnologías innovadoras, como lo es el Internet de las Cosas, y que esto promueva su utilización.

Para comprobar la funcionalidad del marco de referencia se desarrollaron dos casos de aplicación. El primero es la creación de un sistema IoT que permite el monitoreo y recolección de datos de un huerto urbano y el segundo fue desarrollar un sistema para el monitoreo de estaciones climáticas. El reporte técnico está organizado de la siguiente manera:

Capítulo 1 Planteamiento del problema: En este capítulo se describe el problema detectado, se establecen los objetivos tanto el general como los específicos, la justificación de por qué es viable el desarrollo del proyecto y al final se describe la estructura de reporte técnico.

Capítulo 2 Marco teórico: En el marco teórico, se abordan los conceptos básicos en relación con el IoT. En este capítulo se presentan antecedentes, definiciones, características, así como una descripción general de los componentes que integran un sistema IoT. Se describe también el dominio de aplicación que puede tener este tipo de sistemas abordando más detalladamente los sectores a los que está destinado el proyecto, así como el impacto en la sociedad que IoT está teniendo actualmente. Por último, se describen los distintos modelos de arquitecturas que son utilizados.

Capítulo 3 Marco de referencia: En este capítulo se expone el marco de referencia propuesto. Se realiza una visión general del marco de referencia, así como una descripción más a detalle de cada una de las capas que lo integran iniciando con la capa de objetos hasta finalizar con la capa de aplicación.

Capítulo 4 y 5 Casos de aplicación: En estos capítulos se presentan dos casos de aplicación, el primero está enfocado a resolver una problemática en el sector agrícola y el segundo al sector ambiental, desarrollándose a partir del marco de referencia propuesto. En cada caso se especifica un problema detectado en el área, se determinan los objetivos y se realiza la implementación del sistema.

Capítulo 6 Conclusiones: En este capítulo se presentan los resultados y conclusiones obtenidos a partir de la implementación del marco de referencia en cada uno de los casos de aplicación. Por último, se muestran las fuentes consultadas para la elaboración de este proyecto.

# **CAPÍTULO 1:**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1.- Definición del problema**

La implementación de aplicaciones tecnológicas que involucran Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés) permiten a organizaciones públicas y privadas recabar grandes cantidades de información crítica asociada a sus procesos tecnológicos e impulsar el crecimiento económico en las ciudades. Se puede definir IoT como la agrupación de tecnologías que permiten a objetos o entes individualmente identificados comunicarse entre sí con el fin de obtener información [4].

Se ha demostrado que el desarrollo e implementación de tecnologías innovadoras está estrechamente relacionado con el crecimiento económico de las organizaciones. Esto ha propiciado que las empresas busquen contar con tecnologías cada vez más recientes y optando en muchos de sus casos por soluciones que utilicen IoT [5]. Aunque este tipo de aplicaciones se encuentran en constante desarrollo, en la búsqueda referencial realizada no se encontró un marco estandarizado debidamente establecido [6], es decir, no se cuentan con una descripción concreta de los aspectos físicos y virtuales necesarios que implica el desarrollo de una solución IoT.

Se debe tener en claro que las aplicaciones que utilicen este tipo de tecnología deben contar con una arquitectura sólida, que pueda ser utilizada en aplicaciones actuales y que además posea una estructura flexible que le permita ser modificada y mejorada para futuros proyectos [6].

Aunque ya se han desarrollado marcos de referencia que sirven como base para construir aplicaciones que involucren IoT, la mayoría están enfocados a resolver problemas específicos o se encuentran limitadas a utilizar algún tipo de dispositivo en particular [7]. Esto debido a que el modelo IoT utilizado en la implementación de un sistema de energía inteligente en entornos sociales como edificios y viviendas, es muy distinto al que se necesitará para realizar mejoras en sistemas de servicios logísticos [8], [9].

Debido a que aún no se tiene un marco de referencia estándar debidamente establecido enfocado a resolver problemáticas en distintos sectores económicos como lo son agrícola o ambiental, cuando una organización desea implementar un sistema IoT, se encuentra con la dificultad de no contar con una herramienta que les facilite iniciar con el desarrollo de proyecto.

## **1.2.- Objetivo**

Desarrollar un marco de referencia que facilite a organizaciones la elaboración de soluciones tecnológicas que involucren IoT, orientado principalmente a sectores de impacto económico como lo son el ambiental y agrícola.

## **1.3.- Objetivos específicos**

- Realizar un análisis y documentación de los modelos de cómputo que actualmente son utilizados para desarrollar soluciones IoT, así como los principales proveedores de servicios de nube que ofrecen servicios para crear este tipo de soluciones.
- Identificar problemas o dificultades comunes que tienen los sectores de impacto económico antes mencionados y que puedan ser atendidos con soluciones tecnológicas IoT.
- Comparar e identificar los modelos de arquitectura actuales utilizados para desarrollar sistemas IoT.
- Desarrollar un marco de referencia en donde se especificarán los conceptos generales y relaciones que existen en las distintas etapas de un proyecto.
- Comprobar el funcionamiento del marco de referencia mediante el desarrollo de dos casos de aplicación.

## **1.4.- Justificación**

Hoy en día, cada vez son más las empresas que están implementando iniciativas tecnológicas que involucran IoT o se encuentran en proceso de hacerlo. Implementar tecnologías IoT en una empresa no solamente implica beneficios como el ahorro de costos, tiempo y personal, sino, que también tiene un gran impacto en otras áreas tecnológicas como la robótica o la inteligencia artificial al proveerles de grandes volúmenes de datos ya procesados que contribuirá a que tengan un crecimiento más acelerado [3].

Por esta razón, que una empresa no esté comenzando o aun no tenga planes a futuro de implementar iniciativas para el desarrollo de sistemas IoT que permitan mejorar sus procedimientos y actividades se convertirá en una importante desventaja frente a sus competidores [3].

Cuando una organización decide crear una aplicación que involucre IoT para solucionar problemas en sectores de impacto económico generalmente se encuentran con la dificultad de no contar con una guía adaptable que les facilite el desarrollo de este tipo de aplicaciones [6]. El no tener claro que es lo que

inicialmente se debe de tomar en cuenta al crear aplicaciones IoT propicia a tener futuros inconvenientes como la pérdida de tiempo operativo, el gasto en materiales no necesarios o la sustracción de datos por omitir protocolos de seguridad al enfocarse solamente a la creación de la aplicación [10].

Para resolver esta problemática, se plantea desarrollar un marco de referencia que facilite a las organizaciones desarrollar aplicaciones que involucren IoT con la finalidad de solucionar problemas en sectores de impacto económico que puedan implementar redes de dispositivos. Mediante una investigación documentada se busca encontrar las características de cada sector que tengan relación con tecnologías IoT con la finalidad de identificar los factores que tienen en común y con base en esto estructurar un marco de referencia base que pueda ser aplicado en cualquiera de estos sectores.

La creación de un marco de referencia ayudará a las organizaciones a contar con una estructura que le sirva como guía para conocer cuáles son los componentes que se necesitan tomar en cuenta al iniciar el desarrollo de una aplicación que involucre IoT. Un marco de referencia beneficiará a la organización en diferentes aspectos como lo son la reducción de tiempo en planeación al enfocarse directamente en los puntos clave, evitar gastos de material innecesario, contar con menor cantidad de personal operativo enfocada en el desarrollo del proyecto o diseñar e implementar prototipos en menor tiempo [11].

## **1.5.- Metodología**

En esta sección se detalla la metodología que se utilizó en el desarrollo de la investigación, así como los pasos que la componen.

Este proyecto está conformado por dos secciones. Una parte es una investigación documental en la cual se pretende adquirir nuevos conocimientos con la finalidad de utilizarlos en un área de estudio determinada. La segunda parte se enfoca en el desarrollo tecnológico debido a que se busca diseñar e implementar un nuevo producto basado en el marco de referencia propuesto.

La metodología empleada para el desarrollo de este proyecto está conformada de dos fases principales, las cuales están enfocadas en cumplir con los objetivos previamente establecidos. A continuación, se describirán los pasos que fueron utilizados para desarrollar la sección de investigación documental.

### **Metodología propuesta para desarrollo de la primera etapa**

- **Revisión documental sobre distintos tipos de marcos de referencia de IoT**
- **Proponer o adaptar un marco de referencia para el proyecto**

En la primera fase, se investigó acerca de los tipos de modelos de referencia y arquitecturas que son utilizadas con mayor frecuencia en el desarrollo de proyectos IoT, además de realizarse un análisis de los componentes de cada una con la finalidad de encontrar cuales serían los óptimos para los campos de aplicación de este proyecto.

Se consultaron distintas fuentes de información como publicaciones científicas (tanto artículos de revistas como conferencias), sitios web, tesis de investigación, libros, entre otras. Los principales temas que se tomaron en cuenta fueron el desarrollo de aplicaciones IoT, modelos de referencia para sistemas IoT, modelos de arquitecturas IoT, cómputo en la nube, plataformas IoT, el estado del arte en aplicaciones IoT, protocolos de comunicación entre objetos y plataformas IoT, antecedentes y estado del arte en el desarrollo de soluciones IoT, entre otros.

Una vez realizada esta investigación se continuó con la revisión y organización de la información con el fin de descartar la menos relevante y con base a esto, se propone un marco de referencia que organizaciones tanto públicas como privadas puedan emplear para desarrollar aplicaciones IoT en los sectores agrícola o ambiental.

## **CAPÍTULO 2:**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1.- Antecedentes de IoT**

Desde la introducción del Internet al mundo en 1989 los dispositivos que se conectan a Internet han ido aumentando a una gran velocidad con el paso del tiempo [12]. En 1990, el despliegue del uso de internet aún era muy joven se estimaba que existían solo alrededor de 3 millones de personas que tenían acceso y solo había 313,000 computadoras. En ese año se desarrolló también el primer dispositivo inteligente, un tostador que podía ser apagado o encendido utilizando internet [13].

En 1991, se desarrolló una aplicación en un laboratorio de computación de la Universidad de Cambridge para resolver el problema de revisar si una cafetera estaba llena antes de tener que bajar por café. Esta es considerada como una de las primeras aplicaciones con dispositivos conectados a internet [14].

En el año de 1994 Steve Mann invento la WearCam que era un sistema multimedia portable el cual tenía la capacidad de procesar video y contaba con conexión inalámbrica a internet [15]. El término “Internet de las Cosas” fue utilizado por primera en 1999 en una presentación acerca de utilizar etiquetas RFID conectadas a internet para la cadena de suministros de una empresa por Kevin Ashton, quien en ese entonces fuese director ejecutivo del Auto-ID Center del MIT [16].

En el año 2000 como uno de los grandes avances de IoT en el mercado, fue la invención del primer refrigerador inteligente LG. Este tenía la funcionalidad de determinar si algún alimento almacenado en su interior necesitaba ser repuesto.

Posteriormente en el año 2003, la tecnología de sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID por sus siglas en inglés) comenzó a tener una gran influencia en el sector privado y comercial. En ese año la empresa Walmart se dio a la tarea de desplegar una gran cantidad de chips (circuitos electrónicos) en toda su cadena de suministros [17].

En 2011, el lanzamiento del Protocolo de Internet versión 6 (IPv6) provocó que organizaciones de Tecnologías de la información como lo son IBM y Cisco tuvieran un gran interés en este campo, lo que a su vez desencadenó el desarrollo de iniciativas educativas y comerciales con IoT [17].

El IoT es un paradigma que está creciendo rápidamente. Según Cisco IBSG desde el 2008 los objetos conectados a internet habían superado a la cantidad de personas en el planeta. Se estima que para el 2025 el número total de dispositivos conectados será aproximadamente de 75.44 mil millones [18] [19].

## **2.2.- Definición de IoT**

Como se mencionó anteriormente el interés y crecimiento que ha tenido el Internet de las Cosas a través del tiempo está teniendo un gran impacto en el valor de la economía mundial. En la actualidad una gran cantidad de dispositivos electrónicos se encuentran conectados a internet, cumpliendo con las funciones de recopilación, procesamiento y compartición de datos con el fin de ayudar a mejorar las vidas de los usuarios [20].

A pesar de la atención que este campo tecnológico ha recibido, aun no se cuenta con una definición única y universalmente aceptada para el término. Una de las definiciones más comúnmente utilizadas es la descrita en la Recomendación UIT-T Y.2060 publicada por la UIT en 2012, la cual define IoT como *“Infraestructura mundial para la sociedad de la información que propicia la prestación de servicios avanzados mediante la interconexión de objetos (físicos y virtuales) gracias a la Inter-operatividad de tecnologías de la información y la comunicación presentes y futuras”* [21].

Otra definición de lo que es IoT es la utilizada en el artículo "The Advantages of IoT and Cloud Applied to Smart Cities" publicado en IEEE Xplore digital library la cual describe al IoT como *“El conjunto de tecnologías que permiten la interconexión de objetos identificándolos de forma única en la red. Estos objetos pueden estar provistos de sensores o actuadores y pueden hacer que la información esté disponible fácilmente o realizar acciones complejas”* [22].

La definición que se utilizará para esta investigación está basada en la proporcionada por la UIT y el artículo "The Advantages of IoT and Cloud Applied to Smart Cities" la cual describe el término Internet de las Cosas o IoT como *“La infraestructura o agrupación de tecnologías que permiten la interconexión de objetos o entes individualmente identificados comunicarse entre sí en una red con el fin de obtener, procesar, analizar, mostrar e interpretar información”* [21] [22].

### 2.3.- Características de IoT

IoT es un conjunto de tecnologías complejo, cada componente que lo integra cuenta con cualidades independientes uno de otro. A pesar de esto, existen varias que pueden ser consideradas como las más representativas cuando se busca desarrollar una solución de este tipo. A continuación, se enlistan algunas principales características con las que un sistema IoT puede contar.

- **Interconectividad:** Los objetos tienen la capacidad para conectarse con la infraestructura global de información y comunicación directa o indirectamente [23].
- **Heterogeneidad:** Existe una gran variedad de objetos, así como plataformas y redes de comunicación que pueden interactuar entre sí en un sistema IoT [23].
- **Cambios dinámicos y autoadaptación:** El estado de los objetos es cambiante por lo que se deben de contar con funciones para adaptarse dinámicamente a estos cambios. Los objetos pueden pasar de un estado conectado a desconectado, de una ubicación a otra, esto de manera controlada o por algún imprevisto ocurrido en el sistema [23]. Así como contar con capacidades para tomar decisiones en función de sus condiciones operativas o respecto a cambios en su entorno [24].
- **Conectividad:** Facilitar la comunicación entre la infraestructura de red y los objetos es una característica ampliamente aceptada. Un sistema IoT debe de contar con cualidades que permitan la correcta integración y comunicación entre las diferentes capas que lo componen [23].
- **Escala:** La cantidad de objetos conectados puede incrementar tanto como sea necesario. De la misma manera, se debe de tener contemplado que los sistemas deben de estar diseñados para poder administrar esta cantidad de objetos, así como poder procesar los datos obtenidos [23].
- **Identidad única:** Cada dispositivo de IoT cuenta con una identidad e identificación única la cual les permite ser diferenciados e identificados dentro de la red [24].

Las características previamente descritas son las que principalmente están presentes en un sistema IoT, sin embargo, no son las únicas. Existen también otras características implicadas en este tipo de sistemas como lo son la autoconfiguración de los dispositivos, capacidad de integración a la red de información, capacidad inteligente de toma de decisiones, pero están enfocadas a dispositivos más específicos debido a que es necesario que cuenten con una mayor capacidad de cómputo [24].

## 2.4.- Componentes de un sistema de IoT

Un sistema IoT está constituido de diversos bloques en los cuales se realizan las tareas de recolección de datos, comunicación, mecanismos de actuación, procesamiento, gestión y visualización de la información. A continuación, se describirán a mayor detalle los componentes que integran un sistema IoT.

### 2.4.1.- Objetos

Este bloque está integrado por dispositivos que cuentan con capacidades de detección de cambios en el entorno o de acción en el mismo. Un dispositivo es una entidad física independiente que puede realizar funciones específicas en un contexto determinado y con interfaces limitadas [25]. Está compuesto por hardware y software que interactúan directamente con el entorno físico.

En un sistema IoT estos dispositivos están conectados a una red en la cual envían y reciben información de otros dispositivos y también pueden estar conectados a internet de forma directa o indirecta.

Por otra parte, existen dispositivos con mayores funcionalidades a un dispositivo básico que cuenta con solo uno o dos sensores, estos objetos se pueden clasificar como dispositivos inteligentes. Un dispositivo inteligente es un dispositivo electrónico interactivo compuesto de uno o varios sensores que cuentan con capacidades de procesamiento y conectividad limitadas lo que les permite compartir e interactuar con un usuario u otros dispositivos [25]. Los objetos inteligentes están compuestos esencialmente de distintos sensores esto con la finalidad de ampliar su funcionamiento [26].

Algunos ejemplos de este tipo de dispositivos son los teléfonos inteligentes, electrodomésticos inteligentes, consolas de video juegos de última generación, reproductores de video o también elementos de control inteligente de la vivienda como controles de iluminación, control de acceso y también control de clima.

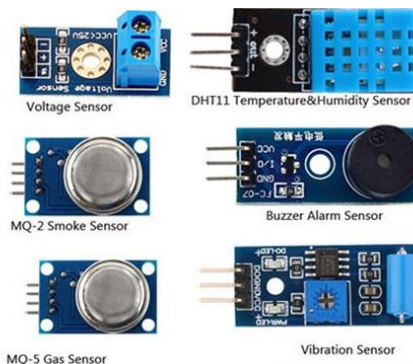


Figura 1. Ejemplo de sensores [27].

Los dispositivos pueden contar con una variedad distinta de interfaces para comunicarse con otros dispositivos o para realizar sus funciones predeterminadas. Estas interfaces incluyen la de entrada y salida para sensores, interfaces de conectividad a internet, interfaces de memoria y almacenamiento o también interfaces de audio y video [24].

#### **2.4.2.- Comunicación**

La comunicación en un sistema IoT es uno de los componentes principales utilizados en el desarrollo de arquitecturas y modelos de referencia, esto debido a que un dispositivo para que pueda ser considerado propiamente en un sistema IoT debe de contar con capacidades para enviar y/o recibir datos.

Que un dispositivo pueda comunicarse adecuadamente, ya sea con otro dispositivo, Gateway, plataforma de cómputo o con algún tipo de sistema de cómputo ya sea local o en la nube, puede ser desde una actividad simple como un proyecto escolar hasta una tarea muy compleja que debe ser ejecutada por un especialista en el área.

En un sistema IoT se debe de tener en cuenta que cada dispositivo puede utilizar diferentes tecnologías de comunicación, protocolos de conectividad, capacidades de almacenamiento, formas procesamiento de datos y potencia de transmisión, distinto a otros dentro de la misma red [28]. Algunas de las tecnologías de comunicación y estándares más utilizadas en un sistema IoT son el WI-FI, ZigBee, Z-wave, LTE, LoraWan, Bluetooth Low Energy, estándares de telefonía móvil, entre otros.

#### **2.4.3.- Modelos de cómputo**

Debido a la gran cantidad de datos recopilados por los dispositivos los recursos de cómputo requeridos para su procesamiento y almacenamiento deben de contar con funcionalidades que les permitan soportar estas cargas de trabajo [29]. A continuación, se explicarán 3 modelos para el tratamiento de los datos en una arquitectura IoT.

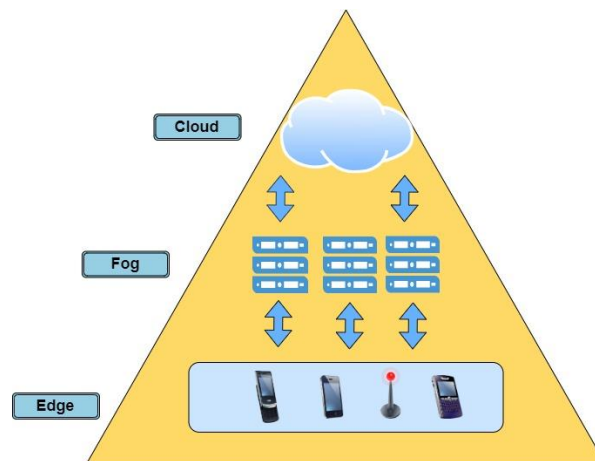


Figura 2. Modelos de cómputo.

### **Cómputo en la niebla**

Es un modelo de cómputo el cual tiene como finalidad descentralizar de la nube sus funciones principales como lo son: el almacenamiento de datos, el procesamiento, los servicios y las aplicaciones para llevarlo a un entorno local el cual tendrá las características necesarias para ejecutar estos servicios [30].

### **Cómputo en el borde**

Es un modelo de cómputo en el cual un dispositivo de una red tiene la capacidad de analizar y procesar los datos y decidir cuáles son los indicados para enviarse a un dispositivo de nivel superior como la nube o un centro de datos [30].

### **Cómputo en la nube**

Cuando se habla de la nube se refiere a una red de servidores remotos que cuentan con funciones para almacenar o administrar datos, crear y ejecutar aplicaciones o servicios todo funcionando como un único ecosistema. Además, cuenta con herramientas que le permiten proporcionar un entorno de ejecución virtual flexible para procesar aplicaciones a través de un número potencialmente infinito de recursos informáticos configurables [22] [30].

Este modelo de cómputo cuenta con 3 tipos de estructuras para el aprovisionamiento de recursos que se describen en la tabla 1.

Concepto	Descripción
<i>Nube Pública</i>	Es un modelo de cómputo en la nube en el cual un proveedor de servicios pone a disposición recursos que son accedidos a través de internet con tarifas dinámicas de pago por uso [31].
<i>Nube Privada</i>	Es un modelo de cómputo en la nube que se implementa dentro del firewall de una organización y con una cantidad de recursos limitados. Se refiere a los centros de datos internos de un negocio que no están disponibles para el público en general [31].
<i>Nube Híbrida</i>	Es un modelo de cómputo en la nube en el cual se pueden disponer de servicios de la nube pública para tolerancia a fallas y escalabilidad de servicios y también utilizar centro de datos internos [32].

*Tabla 1. Modelos de cómputo en la nube.*

El modelo de cómputo en la nube cuenta con una diversa variedad de servicios y herramientas que facilitan las operaciones del usuario. Estos servicios de cómputo se caracterizan por ser de pago por uso, es decir, el usuario paga por el tiempo o recursos que consume. Además, este tipo de servicios provee de herramientas a los usuarios que les permite realizar sus actividades utilizando hardware o software con escalamiento dinámico a través de redes de centros de datos proporcionados por un proveedor externo [33].

Los principales servicios que un modelo de cómputo en la nube ofrece son:

- **Infraestructura como servicio**
  - Es un servicio de cómputo en la nube el cual ofrece a sus usuarios recursos de cómputo y almacenamiento dinámico configurables según los requerimientos de los usuarios [34].
- **Plataforma como servicio**
  - Es un servicio de cómputo en la nube el cual ofrece a sus usuarios los recursos necesarios de hardware y software que facilite el desarrollo e implementación de aplicaciones informáticas [35].
- **Software como servicio**
  - Es un servicio de cómputo en la nube el cual ofrece a sus usuarios soluciones de software escalables según los requisitos del usuario [34].

Para solicitar estos servicios se debe contactar con alguno de los diferentes proveedores que existen en el mercado. Entre los proveedores más solicitados se encuentran:

Concepto	Características
<i>Amazon Web Services</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fue la primera en comercializar en 2006 y no tuvo ninguna competencia seria durante más de dos años.</li> <li>• Cuenta con una enorme y creciente gama de servicios disponibles, así como la red más completa de centros de datos mundiales.</li> <li>• El costo y el acceso a los datos son algunas de las debilidades de Amazon [36].</li> </ul>
<i>Microsoft Azure</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una razón importante para el éxito de Azure fue que muchas empresas utilizaban Windows u otro software de Microsoft.</li> <li>• Un cliente empresarial de Microsoft puede esperar importantes descuentos en los contratos de servicio.</li> <li>• Los clientes citan problemas con el soporte técnico, la documentación y la capacitación [36].</li> </ul>
<i>Google Cloud</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se especializa en ofertas informáticas de alta gama como big data, análisis y aprendizaje automático.</li> <li>• También proporciona opciones de escalamiento considerable y equilibrio de carga de datos.</li> <li>• Ofrece tiempos de respuesta rápidos en sus soluciones.</li> <li>• No ofrece tantos servicios y características diferentes como AWS y Azure</li> <li>• No cuenta con tantos centros de datos globales como AWS o Azure [36].</li> </ul>

*Tabla 2. Proveedores de cómputo en la nube.*

### **Proveedores Secundarios**

Además de los proveedores mencionados, existen otros como IBM Cloud, Alibaba Cloud, Salesforce Cloud, TenCent Cloud, Oracle Cloud y Rackspace que ofrecen soluciones para implementar sistemas IoT como Alibaba Cloud IoT, Salesforce IoT Cloud, Oracle IoT Intelligent Applications Cloud, entre otros.

#### **2.4.4.- Plataforma de cómputo para IoT**

Una plataforma IoT sirve como medio central de comunicación entre los elementos que integran una infraestructura IoT. Esta permite la interacción de dispositivos heterogéneos sin tener en cuenta las características individuales de cada uno. Además, ofrece al usuario almacenamiento para los datos generados por la capa de objetos, así como, servicios adicionales de procesamiento, análisis y monitoreo de la red de sensores [30].

#### **Tipos de plataformas de IoT**

Existe una gran diversidad de plataformas para el procesamiento y gestión de datos, pero no todas son IoT. Entre ellas existen cuatro clases principales de plataformas que están enfocadas al IoT [37].

- **Plataformas de IoT de extremo a extremo**
  - Facilitan el manejo de millones de conexiones de dispositivos simultáneas al proporcionar hardware, software, conectividad, seguridad y herramientas de administración de dispositivos. Además, estas plataformas proporcionan actualizaciones de firmware OTA (por aire), conectividad en la nube y administración de dispositivos para facilitar el monitoreo de dispositivos [37].
- **Plataformas de conectividad**
  - Estas plataformas se centran en la conectividad de los dispositivos a través de redes de telecomunicaciones enfocadas a conectividad económica y de bajo consumo a través de Wi-Fi o tecnología celular.
- **Plataformas en la nube**
  - Reducen la complejidad de construir pilas de redes complejas y proporcionan instalaciones de back-end para el monitoreo de dispositivos (AWS IoT, Azure IoT, etc.).
- **Plataformas de software específicos de hardware**
  - Este tipo de plataformas es proporcionado por las compañías que venden dispositivos. Este tipo de plataforma sólo puede ser utilizada por los usuarios que obtengan los dispositivos de manera comercial [37].

## **2.5.- Antecedentes de un marco de referencia**

Debido al avance tecnológico que se ha dado actualmente, el incremento de los dispositivos conectados a internet esta aumentando día a día teniendo un gran impacto no solo en entorno social y personal sino también en una amplia cantidad de sectores, como lo son el público y privado, eléctrico, agrícola, ambiental, de salud, entre otros.

La necesidad de que existan normas y regulaciones que permitan la interoperabilidad, la compatibilidad, la confiabilidad entre los distintos componentes que conforman un sistema IoT se ha convertido en una labor complicada debido a la gran variedad de productos que pueden ser integrados.

Para que este tipo de tecnologías sean aceptadas globalmente, organizaciones como la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), el Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE), el Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet (IETF) entre otras, se han dado a la tarea de desarrollar estándares y modelos que faciliten la integración de este tipo de tecnologías en distintos campos de aplicación [38].

Un marco de referencia es una guía o esquema general creado con la intención de que pueda ser adoptado para una variedad de propósitos [39]. En él se define un marco formal en el cual se describe la estructura de un sistema IoT como un conjunto de entidades lógicas tales como: dispositivos, establecimiento de red y puertas de enlace, servicios y aplicaciones IoT, entre las más representativas [40]. Además, estos modelos de referencia también describen funcionalidades como: conectividad entre las entidades como dispositivo-gateway o dispositivo-plataforma IoT, acceso a base de datos, así como también distintas maneras de tratamiento y análisis de la información, interfaces externas para la representación de los datos, etc [40].

Un marco de referencia es un marco que permite comprender las relaciones más importantes que existen entre las entidades de algún entorno. Este tipo de marcos están conformados generalmente por un conjunto mínimo de conceptos, relaciones que se encuentran dentro de un dominio de problema en particular, además es independiente de estándares, tecnologías, implementaciones u otros detalles específicos [41].

Uno de los modelos que sirvió como base para posteriormente desarrollar sistemas IoT es el UIT-T M.3010 propuesto por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en 2000 para la gestión de redes de Telecomunicaciones. Este modelo estaba compuesto de 4 capas: la capa de gestión de elementos, capa

de gestión de red, capa de gestión de servicios y capa de gestión de negocios. La mayoría de los modelos desarrollados en ese tiempo se basaron en el modelo UIT [38].

Otro modelo es el Modelo de Referencia James-Smith el cual es una infraestructura diseñada para el uso de aplicaciones de red en tiempo real. Este modelo a diferencia del anterior está diseñado para redes de objetos y/o dispositivos inteligentes y consta de 3 capas: la capa de conexión, abstracción y aplicación, teniendo en cuenta los protocolos de comunicación relacionados [38].

En el 2011 Zhihong Yang se basó en el modelo de referencia James-Smith para proponer un modelo el cual buscaba estandarizar una estructura para el IoT. Este modelo estaba conformado de 3 capas; la capa de detección, la capa de red y la capa de aplicación. Este modelo sirvió como base para modelos de referencia propuestos en años posteriores, pero no fue suficiente para definir la tecnología IoT, por lo que un sistema IoT fue considerado como una tecnología avanzada de sensores [38].

En el siguiente año la UIT propuso un modelo para que el IoT tuviera una estructura estándar. Este modelo consta de 4 capas: la capa de dispositivos, la capa de soporte de servicio y soporte de aplicación, la capa de red y la capa de aplicación [38]. Para el desarrollo de este proyecto se tomó como referencia este modelo debido a que la integración entre las distintas capas ayuda al usuario a comprender más fácilmente los componentes que integra cada capa debido a que se encuentran agrupados en bloques específicos.

## **2.6.- Tipos de arquitecturas IoT**

Se puede definir una arquitectura IoT como el diseño y representación de los componentes y relaciones necesarios que faciliten la creación, administración, supervisión y control en el proceso de desarrollo de una infraestructura de IoT [25].

Al igual que la sociedad, las empresas buscan cada vez más adoptar tecnologías IoT que contribuyan a mejorar sus procesos, ayudar en la toma de decisiones o disminuir costos. Pero para implementar una infraestructura IoT en una empresa se deben de considerar factores que puedan tener algún impacto en el proyecto como lo son tecnológicos, sociales y económicos. Además, contar con una estructura ordenada, actual y flexible que sirva como guía detallada y facilite el desarrollo de las etapas del proyecto es una necesidad crítica [42].

Existen tres opciones para la implementación de una arquitectura IoT de las que una empresa puede elegir: local, en la nube o híbrido [42]. La opción más favorable depende del proyecto que se desee desarrollar.

### **Arquitectura local de IoT**

Una arquitectura local emplea un modelo de cómputo en el borde enfocándose en que cada dispositivo se encarga del almacenamiento y procesamiento de la información recabada más cercana del origen de los datos [42]. Lo que beneficiaría a las empresas a tener información crítica más rápidamente y esto ayudaría a prever incidentes mediante la toma de decisiones en tiempo real.

### **Arquitectura de IoT en la nube**

Este tipo de arquitectura se enfoca a las empresas que buscan administrar grandes cantidades de dispositivos conectados que no solo se encuentran en un entorno local como la arquitectura anterior, sino, que también pueden obtener información de fuentes externas. Además, cuenta con una mayor interoperabilidad permitiendo a diferentes dispositivos interactuar entre sí y con otros sistemas de nube.

### **Arquitectura híbrida**

En la arquitectura híbrida se busca obtener una combinación entre la arquitectura local y la de nube tomando las características principales de cada una. En esta arquitectura los datos obtenidos por los dispositivos son analizados y procesados localmente generando información crítica de la empresa [42]. Esta información posteriormente será enviada a la nube para ser analizada con herramientas especializadas con el fin de dar a la empresa informes globales para que en caso de requerir acciones preventivas estas puedan ser tomadas a tiempo.

## **2.7.- Modelos de arquitecturas IoT**

Existen diferentes modelos de arquitecturas estas pueden variar según la complejidad que requiera la aplicación y los recursos con los que se cuenta [43].

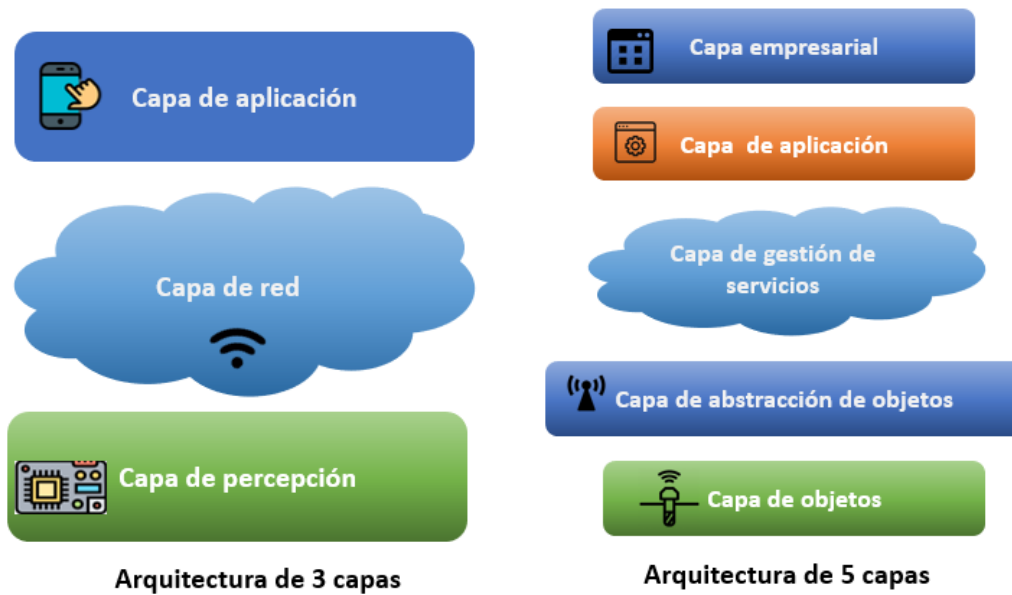


Figura 3. Ejemplos de arquitecturas IoT [44].

En la figura 3 se muestran dos modelos de arquitectura, la arquitectura de 3 y 5 capas. Estos modelos se distinguen gracias a la abstracción de cada una de sus capas y la dificultad del proyecto que será abordado con estos modelos.

#### a) Modelo básico de 3 capas

Uno de los modelos IoT más importantes y conocidos es el modelo de 3 capas. Debido a la facilidad de implementación es uno de los modelos más utilizados [45].

- Capa de percepción
- Capa de red
- Capa de aplicación

Este modelo se compone de tres capas las cuales pueden describir de manera general el funcionamiento de un sistema IoT como se muestra en la figura 4.

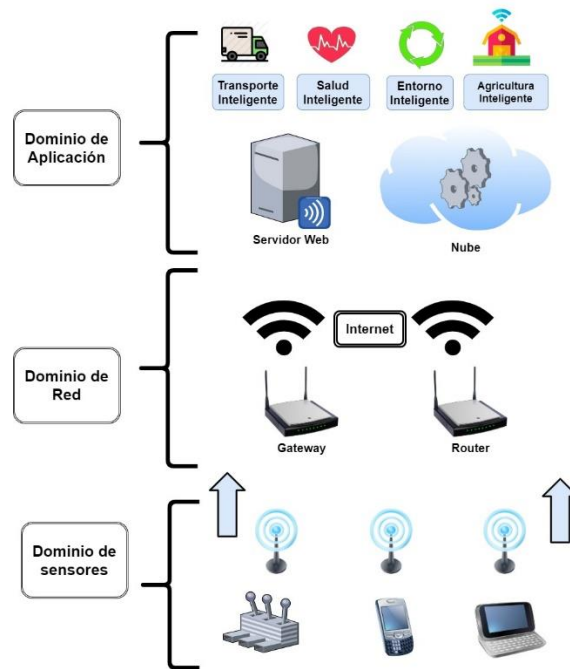


Figura 4. Ejemplo de arquitectura de 3 capas [30].

En la tabla 3 se presenta una breve descripción de las capas de este modelo:

Concepto	Descripción	Ejemplos
<i>Capa de percepción</i>	La capa de objetos, capa de percepción o capa de dispositivos es la encargada de recopilar y procesar información. En esta capa se implementan dispositivos como sensores y actuadores [44].	Etiquetas RFID Sensores Actuadores
<i>Capa de red</i>	La funcionalidad de la capa de red es transportar la información obtenida de los dispositivos de manera segura al sistema de procesamiento [44].	RFID 3G Wi-Fi Bluetooth Low Energy ZigBee
<i>Capa de aplicación</i>	En la capa de aplicación se proporcionan los servicios de medición y monitoreo que solicitan los clientes. En esta capa el usuario final puede interactuar con un dispositivo y consultar datos [46].	Aplicaciones para *Salud inteligente *Hogar inteligente *Ciudad inteligente

Tabla 3. Modelo de 3 capas.

## b) Modelo de 5 capas

A diferencia del modelo de arquitectura de 3 capas existen otros modelos como lo es el modelo de 5 capas que agregan más abstracción a la arquitectura IoT. Las capas del modelo de 3 capas describen la funcionalidad del básica de un modelo, pero para proyectos con una mayor complejidad el modelo de 3 capas no es suficiente [45]. Un modelo de 5 capas se adapta mejor para sistemas que involucren aspectos más detallados en su desarrollo, así como, la integración de diversas tecnologías y un campo de aplicación amplio y complejo [45].

Este modelo se compone de cinco capas:

- Capa de objetos
- Capa de abstracción de objetos
- Capa de gestión de servicios
- Capa de aplicación
- Capa empresarial

En la tabla 4 se presenta una breve descripción de las capas de este modelo:

Concepto	Descripción	Ejemplos
<i>Capa de objetos</i>	La capa de objetos, capa de percepción o capa de dispositivos es la encargada de recopilar y procesar información. En esta capa se implementan dispositivos como sensores y actuadores [44].	Etiquetas RFID Sensores Actuadores
<i>Capa de abstracción de objetos</i>	La función de la capa de abstracción de objetos es transferir los datos generados por la capa de objetos a la capa de gestión de servicios mediante canales seguros [44].	RFID 3G Wi-Fi Bluetooth Low Energy ZigBee
<i>Capa de gestión de servicios</i>	La capa de gestión de servicios o Middleware (lógica de intercambio de información entre aplicaciones) permite la interacción de dispositivos heterogéneos sin tener en cuenta una plataforma de hardware específica. Además, esta capa permite el almacenamiento de los datos que provienen de la capa de abstracción de objetos [43].	Cómputo en la niebla Cómputo en la nube
<i>Capa de aplicación</i>	En la capa de aplicación se proporcionan los servicios de medición y monitoreo que solicitan los clientes. En esta capa el usuario final puede interactuar con un dispositivo y consultar datos [46].	Aplicaciones para *Salud inteligente *Hogar inteligente *Ciudad inteligente

<i>Capa empresarial</i>	La capa empresarial se encarga de la gestión del sistema central IoT. En esta capa se diseñan, analizan, implementan y evalúan componentes para el sistema IoT. También se realizan análisis a los datos obtenidos de la capa de aplicación con el fin de ayudar a determinar acciones futuras en una organización [44].	Generación de modelos de negocio Diagramas de flujo Gráficas
-------------------------	--	--

Tabla 4. Modelo de 5 capas.

### c) Modelo de 5 capas adaptado para el sistema de transporte

Aunque existe una gran variedad de modelos para desarrollar un sistema IoT en entornos generales, también existen modelos adaptados para su implementación en áreas específicas. A continuación, se muestra una de estas variantes que está enfocado en mejorar las tareas relacionadas con sistemas de transporte, así como una breve descripción de las capas que integran este modelo.

Este modelo se compone de cinco capas:

- Capa de aplicación
- Capa de detección
- Capa de comunicación
- Capa de servicio
- Capa de infraestructura

En la tabla 5 se presenta una breve descripción de las capas de este modelo:

Concepto	Descripción	Ejemplos
<i>Capa de aplicación</i>	En esta capa se recopila información al monitorear las tareas que se realizan según los requisitos del cliente. En el área de transportación se monitorean las tareas relacionadas con el tráfico, vehículos, personas, etc. [45] [47]	Vehículos Personas Carreteras Cruces
<i>Capa de detección (Sensing layer)</i>	La finalidad de esta capa es permitir que la capa de aplicación y los vehículos o lugares de estudio interactúen entre si mediante sensores o dispositivos electrónicos [45] [47].	Detección de estacionamiento Monitoreo de vehículos Detección de flujo de pasajeros
<i>Capa de comunicación</i>	En esta capa se realiza la comunicación entre la capa de sensores y la capa de servicio con la finalidad de permitir la transmisión de información [45].	RFID 3G/ 4G/ 5G Wi-Fi Fibra óptica Redes públicas y privadas

<i>Capa de servicio</i>	En esta capa se realizan las actividades solicitadas por el cliente o requeridas por la capa de aplicación [45]. Esta capa obtiene la información de la capa de detección mediante la capa de comunicación [47].	Plataforma de vehículos de pasajeros Plataforma de servicios de vehículos Plataforma integrada de carreteras
<i>Capa de infraestructura</i>	Esta capa es utilizada para crear tecnologías orientadas a brindar alguna clase de servicio relacionado con el área de transportación [45]. Además, en esta capa también se busca realizar las mejoras necesarias con el fin de optimizar el rendimiento de los servicios de transportación [47].	Cómputo en la nube Almacenamiento de la nube Servicios de mapas Herramientas de análisis de datos

*Tabla 5. Modelo de 5 capas enfocado al sector de transportes.*

#### **d) Modelo de 6 capas**

Este modelo está diseñado para facilitar la comprensión e integración en sistemas donde se utilicen dos o más aplicaciones juntas. Se añaden una capa de enfoque y una capa de conocimiento las cuales ayudan a conocer e identificar los objetos que integran la red de dispositivos. Por último, a este modelo se le añade la capa competencia empresarial la cual permite la generación y comparación de modelos de negocios desarrollados a partir de las aplicaciones para las cuales el sistema se diseñó.

Este modelo se compone de seis capas:

- Capa de enfoque
- Capa de conocimiento
- Capa de transmisión
- Capa de aplicación
- Capa de infraestructura
- Capa de competencia empresarial

En la tabla 6 se presenta una breve descripción de las capas de este modelo:

<b>Concepto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ejemplos</b>
<i>Capa de enfoque</i>	En esta capa se identifican los nodos de los cuales se obtendrán datos, teniendo en cuenta el objetivo final del sistema [45].	Detección de ubicación apropiada
<i>Capa de conocimiento</i>	Aquí se recopila la información obtenida de los nodos mediante sensores, actuadores y sistemas de monitoreo de datos [45].	Etiquetas RFID Sensores Actuadores
<i>Capa de transmisión</i>	La función de esta capa es transmitir los datos recopilados de la capa de conocimiento a la capa de aplicación [45].	RFID 3G/ 4G/ 5G Wi-Fi Fibra óptica Redes públicas y privadas
<i>Capa de aplicación</i>	En esta capa se ordena y categoriza los datos obtenidos según la zona de aplicación [45].	Aplicaciones para *Salud inteligente *Hogar inteligente *Ciudad inteligente
<i>Capa de infraestructura</i>	Esta capa es utilizada para crear tecnologías orientadas a brindar alguna clase de servicio [45].	Cómputo en la nube Almacenamiento de la nube Herramientas de análisis de datos
<i>Capa de competencia empresarial</i>	Aquí se evalúa el sistema propuesto analizando especialmente los modelos de negocio y beneficios que representan en la empresa [45].	Generación de modelos de negocio Diagramas de flujo Graficas

*Tabla 6. Modelo de 6 capas.*

### e) Modelo de 7 capas

El modelo de 7 capas está enfocado a detectar el entorno más favorable para el despliegue de los dispositivos y la gestión de los servicios necesarios para la aplicación tenga un adecuado funcionamiento. En este modelo se analizan los factores externos que puedan afectar en las funcionalidades de los objetos y detectar ambientes mayormente viables para que puedan ser instalados. También se enfoca en establecer un entorno virtual que facilite el control, administración y monitoreo de la aplicación para la cual se está desarrollando el sistema.

Este modelo está compuesto de siete capas:

- Capa de entorno
- Capa de hardware
- Capa de red
- Capa de comunicación
- Capa de infraestructura
- Capa de competencia empresarial

En la tabla 7 se presenta una breve descripción de las capas de este modelo:

Concepto	Descripción	Ejemplos
<i>Capa de aplicación</i>	Se recopila información sobre las tareas que el sistema desempeñará según las necesidades del cliente [45].	Aplicaciones para *Salud inteligente *Hogar inteligente *Ciudad inteligente
<i>Capa de gestión y soporte de aplicaciones</i>	Esta capa permite tener un manejo completo de la aplicación [45].	Plataforma para el control de aplicaciones
<i>Capa de servicios</i>	En esta capa se realizan las actividades solicitadas por el cliente o requeridas por la capa de aplicación [45]. Esta capa obtiene la información de la capa de detección mediante la capa de comunicación [47].	Plataformas para almacenamiento de información
<i>Capa de comunicación</i>	Permiten la comunicación para la transmisión de datos entre la capa de obtención y la capa de servicio [45].	HTTP MQTT CoAp
<i>Capa de red</i>	La funcionalidad de la capa de red es transportar y procesar la información obtenida de los dispositivos [44].	RFID 3G Wi-Fi BLE

		ZigBee
<i>Capa de hardware</i>	En esta capa se lleva a cabo la integración de los componentes de hardware necesarios para la obtención de los datos [45].	Etiquetas RFID Sensores Actuadores
<i>Capa de entorno</i>	En esta capa se busca percibir e identificar objetos o lugares que representen una fuente de información significativa que pueda estar en observación [45].	Detección de ubicación apropiada

*Tabla 7. Modelo de 7 capas.*

#### **f) Modelo basado en cómputo en la nube**

Utilizar un modelo basado en la nube facilitará a los usuarios herramientas y servicios con capacidades flexibles y mucho más escalables para el desarrollo de sistemas IoT, así como también proveer de un entorno para el control centralizado de los datos mediante el uso de sistemas de procesamiento. Las herramientas para el análisis y procesamiento de datos, opciones de almacenamiento de información, una infraestructura central o plataformas que cuentan con funcionalidades completas para administrar una gran cantidad de información son algunos de los servicios y herramientas que se pueden emplear utilizando computo en la nube [45].

#### **g) Modelo basado en cómputo en la niebla**

El modelo basado en cómputo en la niebla extiende el paradigma tradicional de cómputo en la nube, al de cómputo al borde de la red lo que proporciona servicios de cómputo, almacenamiento entre los nodos finales y las nubes tradicionales en un sistema IoT. En un modelo basado en la niebla el procesamiento se realiza diferente al basado en la nube. En el cómputo en la niebla una parte del procesamiento y análisis de los datos es realizado en los sensores y en las puertas de enlace para posteriormente ser enviados a la nube [45]. Este modelo se centra arriba después de la capa física y antes de la capa de transporte [45].

El modelo basado en computo en la niebla está integrado por 6 capas.

- Capa de física
- Capa de monitoreo
- Capa de preprocesamiento
- Capa de almacenamiento temporal
- Capa de seguridad
- Capa de transporte

En la tabla 8 se presenta una breve descripción de las capas de este modelo:

<b>Concepto</b>	<b>Descripción</b>
<i>Capa física</i>	La capa de objetos, capa de percepción o capa de dispositivos es la encargada de detectar y recopilar información sobre el entorno. En esta capa se implementan dispositivos como sensores y actuadores [44] [48].
<i>Capa de monitoreo</i>	En esta capa se realiza el monitoreo de los recursos, la energía, las respuestas enviadas por los objetos y la supervisión de los servicios [48]. Aquí se monitorea la actividad de los nodos, es decir, que nodo está haciendo que tarea y en qué momento [49].
<i>Capa de preprocesamiento</i>	La función de esta capa es analizar los datos obtenidos de los sensores mediante un procesamiento con la finalidad de filtrarlos y generar datos más significativos en base a las necesidades del sistema [45].
<i>Capa de almacenamiento temporal</i>	En esta capa los datos son almacenados en diferentes formatos según sea necesario y son distribuidos o replicados utilizando los protocolos adecuados [45]. Una vez que los datos son cargados a la nube ya no es necesario mantenerlos almacenados por lo que son eliminados del medio de almacenamiento [49].
<i>Capa de seguridad</i>	Esta capa es utilizada para brindar un canal seguro para el flujo de los datos [45] utilizando protocolos de cifrado y descifrado con la finalidad de asegurar la integridad de los datos y privacidad de los datos [48].
<i>Capa de transporte</i>	En esta capa se transfieren los datos preprocesados de los sensores a la capa de procesamiento principal o a la nube mediante redes inalámbricas [48].

*Tabla 8. Modelo de cómputo en la niebla.*

## **2.8.- Dominio de aplicación**

Debido al gran incremento de dispositivos conectados, los campos de aplicación para estos se han ampliado y sofisticado considerablemente para aprovechar al máximo sus capacidades y obtener un mayor rendimiento de los datos producidos por estos tipos de dispositivos.

Cuando se habla de que un dispositivo es inteligente se refiere a la capacidad que tienen los objetos para obtener y aplicar conocimientos de forma autónoma. Por otra parte, un entorno inteligente es un ambiente donde los dispositivos que se encuentran interconectados mediante sensores funcionan en conjunto para hacer la vida de los habitantes más cómoda. De manera similar a un dispositivo un entorno inteligente es aquel que es capaz de obtener conocimiento y aplicarlo para mejorar su experiencia de sus habitantes. Al integrar entornos inteligentes con IoT las capacidades funcionales de los objetos se amplían al facilitar el control del entorno desde sitios remotos [46] [50].

Los entornos inteligentes basados en IoT se pueden categorizar en los siguientes dominios de aplicación:

- Ciudades inteligentes
- Edificios inteligentes
- Hogares inteligentes
- Transporte inteligente
- Salud inteligente
- Industria inteligente
- Agricultura inteligente
- Electricidad inteligente

Un dominio de aplicación es el segmento de la realidad , ambiente o entorno para el cual se desarrolla un sistema de software [51]. Estos pueden ser muy extensos o limitados. Un dominio de aplicación puede ser una organización, un departamento dentro de una organización o un solo lugar de trabajo. Siempre se debe de tener en cuenta que la extensión del dominio debe ser limitada, esto para evitar que sea demasiado complejo.

En la figura 5 se ilustran los dominós de aplicación en los que actualmente el IoT está teniendo un mayor impacto en la sociedad. Los dominós de aplicación que se muestran no son los únicos, existen otros que están enfocados a dar soluciones en áreas como la farmacéutica, telecomunicaciones, industria aeroespacial y de aviación, industria química entre otros, que puede comprenderse como la combinación de distintos dominios de aplicación [52].



Figura 5. Dominios de aplicación de IoT [50].

En el capítulo 3 en la sección “Capa de aplicación” se describe más a detalle los dominios de aplicación en los cuales se pueden integrar sistemas IoT y a los que el marco de referencia propuesto puede adaptarse.

### **2.8.1.- Dominio de aplicación del proyecto**

#### **Sector agrícola**

Desde la antigüedad el contar con una fuente renovable de alimento ha sido un factor importante para la supervivencia de los humanos. Según Fernando H. [53] en su libro “Los desafíos de la agricultura” al final de la última glaciación el clima tuvo un aumento en la temperatura lo que favoreció el crecimiento de distintas plantas. Esto ocasionó que posteriormente los humanos se dieran cuenta de que las semillas obtenidas de la recolección de este tipo de vegetación podrían generar las plantas nuevamente [53]. La aparición de la agricultura en la historia determinó y cambió la evolución del hombre.

La agricultura puede ser definida como el conjunto de actividades y técnicas tales como la preparación de la tierra, sembrar y cultivar que tienen la finalidad de extraer bienes del suelo para la alimentación del ser humano [54].

#### **Impacto de la agricultura en la economía**

Desde que el hombre comenzó a desarrollar la agricultura, esta se ha ido convirtiendo en algo primordial para el desarrollo económico de los países y más en los que cuentan con menos recursos debido a que ellos dependen más directamente de esta práctica para su subsistencia [55].

Cuando un país crece económicamente la necesidad de mejorar sus prácticas agrícolas disminuye. Esto debido a que al contar con los suficientes alimentos no es necesario destinar recursos para generar más. Por otra parte, se puede observar como a lo largo de la historia el impacto positivo que ha tenido la agricultura en relación con el desarrollo económico y social de cada país [55].

El impacto que la agricultura representa en la sociedad influye tanto al sector rural como el urbano de distintas maneras. Algunos de los beneficios más importantes son la generación de empleo, disminución de pobreza en el sector rural, desarrollo del mercado interno del país, beneficios generados de las actividades agrícolas hacia los demás sectores y la exportación de recursos a otros países [55].

## **El IoT y el sector agrícola**

En una agricultura tecnológicamente estancada, los precios de los productos tienden a aumentar debido a que la producción no logra cumplir con una demanda creciente y en muchos casos el Estado realiza importaciones para evitar aumentos mayores de los precios. Por otra parte, realizar prácticas agrícolas con tecnologías dinámicas ayudan a satisfacer la creciente demanda de productos evitando el aumento de los precios y propiciando el desarrollo económico.

Actualmente, los países con un desarrollo económico estable cuentan con la capacidad para desarrollar y utilizar técnicas de cultivo más sofisticadas implementado tecnologías recientes. Esto con la finalidad de hacer más eficiente el uso de los recursos naturales e incrementar la productividad [56].

A causa de esto, se deben analizar los distintos factores que influyen en el desarrollo de los cultivos, con la finalidad de encontrar las limitaciones actuales y así poder proponer herramientas que ayuden a mejorar los resultados de la cosecha [54].

Seguido de esto se comenzaron a desarrollar distintas técnicas que facilitaran y mejoraran este tipo de actividades hasta tiempos actuales. A continuación, se describen las principales aplicaciones de IoT en la agricultura.

### **Agricultura de precisión**

Es una estrategia en la cual mediante el uso de tecnologías de la información y comunicación se recolectan datos con la finalidad de tener un mejor manejo del suelo y producción de los cultivos con una mejor calidad nutricional [57].

Aplicar tecnologías recientes como el IoT permite a los administradores de los cultivos detectar irregularidades en los procesos actuales y hasta poder identificar futuros problemas mediante la evaluación detallada de los datos obtenidos, lo que permitirá establecer posibles soluciones para mitigar los problemas [58].

### **Invernaderos Inteligentes**

Un invernadero inteligente es un lugar o espacio el cual, mediante la automatización de los sistemas de fertilización, irrigación y/o clima se busca controlar las variables de temperatura, humedad, intensidad de luminosa, del entorno, para así poder generar las condiciones óptimas que permitan el desarrollo de una o varias especies de cultivos [59]. Este tipo de invernaderos utilizan distintos dispositivos como sensores de temperatura, de humedad, actuadores, equipos de cómputo con la finalidad de obtener datos del entorno y

en base a esto regular las automáticamente las condiciones para que los cultivos se desarrollen adecuadamente.

Utilizar tecnologías como el Internet de las Cosas para mejorar la producción y calidad de los cultivos en el sector agrícola trae consigo una gran variedad de beneficios. A continuación, se enlistan los beneficios principales de utilizar estas tecnologías:

- Recopilar datos precisos en tiempo real periódicamente permitirá al productor analizarlos para tomarlos como referencia en futuras decisiones que beneficien a los cultivos.
- El costo empleado en la compra de insumos disminuirá debido a que se por Ayudarán al productor reduciendo el costo de los materiales necesarios para la producción.
- Debido a la gran cantidad de dispositivos que pueden ser implementados, se pueden comprender grandes extensiones de tierra con un número más reducido de personal.
- Obtención de mayor calidad de los productos al utilizar los materiales y porciones óptimas para su producción gracias a la evaluación de los datos recopilados.
- Se pueden controlar los sistemas automatizados sin necesidad de estar físicamente en el cultivo mediante una conexión de un dispositivo con el sistema de control previamente establecido.
- Se promueve el uso tecnologías para abordar problemáticas y disminuir el esfuerzo empleado para la realización de actividades [59].

## 2.9.- Impacto en la sociedad

Poco a poco se puede apreciar como el Internet de las Cosas se está convirtiendo en algo esencial en la vida cotidiana. Cada vez la cantidad de objetos conectados aumenta considerablemente. Según un informe del sitio web Statista la cantidad de dispositivo conectados en 2020 superará los 30 mil millones y se espera que para el 2025 habrá más de 75 mil millones de objetos [60].

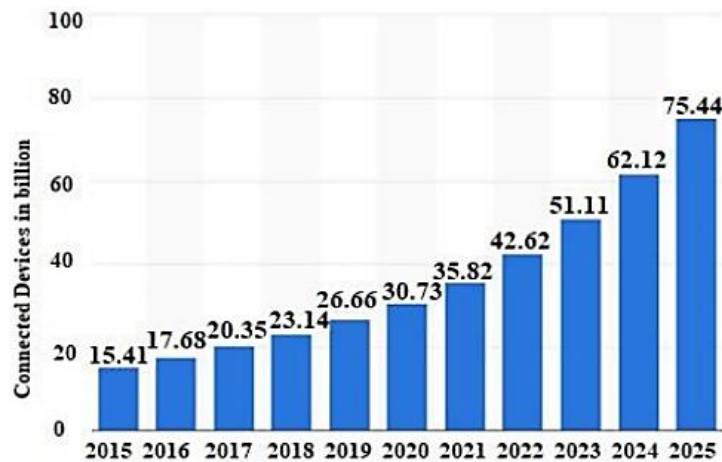


Figura 6. Dispositivos conectados a Internet de las cosas de 2015 a 2025 (en miles de millones) [60].

En un estudio realizado por FORBES INSIGHT a diversas industrias tecnológicas se mostró el impacto real que está teniendo IoT en empresas comerciales e industriales. En el estudio se reveló que los ejecutivos seleccionaron a IoT como unas de las tecnologías de mayor importancia para las compañías a diferencia de la robótica, la inteligencia artificial y la realidad aumentada como se muestra en la tabla 9 [3]. Esto debido a 3 puntos principales:

- El desarrollo de proyectos IoT serán parte del futuro prácticamente de todas las industrias
- El costo de implementación es menor en comparación con otras tecnologías
- IoT genera datos nuevos que alimentan otras tecnologías como la inteligencia artificial lo que permite acelerar su crecimiento

<b>Tecnología</b>	<b>Importancia</b>
Internet de las cosas	33%
Robótica	26%
Inteligencia artificial	20%
Nanotecnología	9%
Impresión 3D	7%
Realidad Aumentada	4%
Drones	1%

*Tabla 9. Porcentaje de interés en desarrollar iniciativas tecnológicas en la industria [3].*

Por esta razón, que una empresa no esté comenzando a implementar iniciativas de desarrollo que involucren IoT para mejorar sus procedimientos y actividades se convertirá en una importante desventaja frente a sus competidores [3].

Como se mostró en este capítulo, el Internet de las Cosas ha estado presente mucho antes de que este fuera presentado a la sociedad. De la misma manera, este paradigma no contaba con un término específico hasta que Kevin Ashton lo utilizó en su presentación de 1999. Además, se abordaron las características generales de una arquitectura de IoT, así como una descripción de los bloques principales que la componen.

También se abordaron distintos tipos de modelos de cómputo que se han utilizado para el procesamiento y análisis de datos en sistemas IoT. Se describieron algunos de los principales servicios que pueden ser proporcionados por estos modelos y se documentaron las características de los principales proveedores de estos servicios.

Por último, en este capítulo se han considerado diferentes arquitecturas, de las cuales se explican sus diferentes componentes y se da una breve descripción de cada una de ellas, Así como una introducción a los dominios de aplicación del IoT seguido del impacto que está causando utilizar este tipo de sistemas en la sociedad. El objetivo es que el lector tenga una vista más amplia de cómo se integra una solución IoT en distintos campos de aplicación.

## CAPÍTULO 3:

### MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1.- Especificación del marco de referencia

Para el desarrollo del marco de referencia propuesto se analizaron los diferentes modelos descritos anteriormente. Esto con la finalidad de comprender los componentes que los integran y con base a esto proponer la estructura o arquitectura conceptual que pueda ser empleada para desarrollar e implementar aplicaciones para los sectores agrícola y ambiental.

Cada modelo descrito en el capítulo 2 posee una gran cantidad de beneficios, pero esto no quiere decir que tendrán el mismo impacto para una empresa. Todas las organizaciones cuentan con enfoques diferentes por lo que determinar cuál modelo es el más adecuado no es una tarea fácil. Se debe de tomar en cuenta los dispositivos, tecnologías y procesos con los que se cuenta actualmente, los objetivos y el enfoque de negocio de la empresa. Y una vez analizados cada uno de estos se debe escoger el modelo que se adapte mejor y no solo implementar tecnología IoT por ser algo innovador.

En la figura 7 se muestra una comparación entre los modelos más utilizados en la implementación de sistemas IoT, el modelo de 3 y de 5 capas.

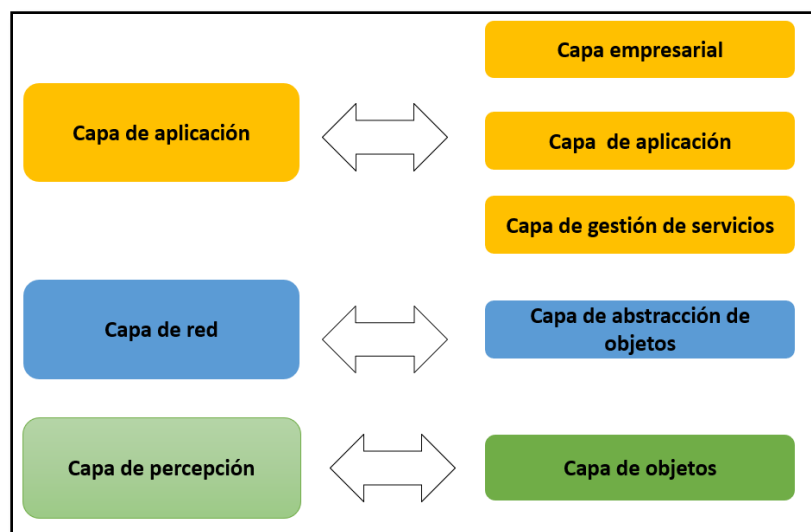


Figura 7. Comparación entre el modelo de 3 capas y el modelo de 5 capas [61].

Como se muestra en la figura 7 la capa de percepción del modelo de 3 capas es similar a la capa de objetos del modelo de 5 capas. La capa de red puede ser comparada con la capa de abstracción de objetos en la cual se transfieren los datos de la capa de objetos a la capa de gestión de servicios. Por último, la capa de aplicación del modelo de 3 capas puede ser comparado con la capa de gestión de servicios y de aplicación del modelo de 5 capas esto debido a que estas dos capas en conjunto cuentan con características similares a la capa de aplicación del modelo de 3 capas.

### 3.2.- Descripción del marco de referencia propuesto

Basado en los modelos de 3, 5, 6 y 7 capas presentados en el capítulo 2 se propone utilizar un modelo de 5 capas como la estructura o arquitectura conceptual del marco de referencia. Esto debido a que una de las principales características de un modelo de 5 capas es que está diseñado para el desarrollo de sistemas más detallados y complejos. Posteriormente se implementará y validará mediante un caso de uso aplicado al sector ambiental y el desarrollo de un prototipo para el sector agrario. Un diagrama de esta arquitectura conceptual se muestra en la figura 8.



Figura 8. Arquitectura conceptual de 5 capas [44].

En la figura 8 se pueden observar las 5 capas que integran la arquitectura conceptual del marco de referencia, partiendo desde la capa de objetos hasta la capa de aplicación. La capa de objetos puede considerarse similar a la capa de percepción descrita anteriormente, la función de esta capa es realizar la obtención de datos en un entorno mediante la utilización de dispositivos.

Después se continua con la capa de tecnologías de comunicación la cual tiene como función principal permitir la transmisión de los datos obtenidos mediante protocolos como Ethernet, Bluetooth, Wifi o Zigbee, entre otras, que puedan facilitar la comunicación entre los objetos y la capa de red. En la capa de red se establecen los protocolos de comunicación utilizados para el envío de información entre los dispositivos y la capa plataforma como lo son el protocolo HTTP, MQTT, CoAp, AMQP, FTP, entre otros.

En la capa plataforma IoT es la encargada de brindar un entorno para que los datos obtenidos por los objetos puedan ser almacenados, administrados, analizados y/o procesados para su posterior representación de manera que el usuario los pueda interpretar más fácilmente.

Por último, en la capa de aplicación se establece el campo de aplicación para el cual el sistema está enfocado en este caso, el sector agrícola, eléctrico o ambiental. A continuación, se describe la arquitectura mencionada, partiendo desde la capa de objetos hasta la capa de aplicación.

### **3.2.1.- Capa de objetos**

Un sistema IoT está basado principalmente en los dispositivos. Estos cuentan con capacidades que les permiten observar cambios en el entorno y en base a esto realizar acciones [24]. En esta capa se realiza la recopilación de datos mediante la implementación de objetos como sensores, actuadores, Etiquetas RFID, dispositivos inteligentes, entre otros [44]. A continuación, se describe más detalladamente los objetos que pueden ser integrados en un sistema IoT.

#### **Sensores y actuadores**

Es un dispositivo que tiene la capacidad de detectar y convertir variaciones en el entorno, en datos que un equipo digital pueda interpretar. Se distinguen en su mayoría por ser pequeños, de bajo costo y con un consumo de energía bajo. Además, utilizan conectividad de baja velocidad para generar un menor consumo de energía [25]. Algunos ejemplos de este tipo de objetos son los sensores químicos y bioquímicos, los sensores neuronales, sensores médicos, los sensores ambientales, las etiquetas RFID, entre otros.

Al igual que los sensores, los actuadores son dispositivos que ayudan a la interacción con el entorno físico. Un actuador es un dispositivo que cuenta con capacidades para realizar acciones mecánicas en su entorno basado en señales de entrada que pueden ser eléctricas, neumáticas, hidráulicas o mecánicas [62] por ejemplo el control de temperatura de un aire acondicionado [29].

En la figura 9 se pueden observar algunos ejemplos de objetos que pueden ser utilizados para desarrollar esta capa.

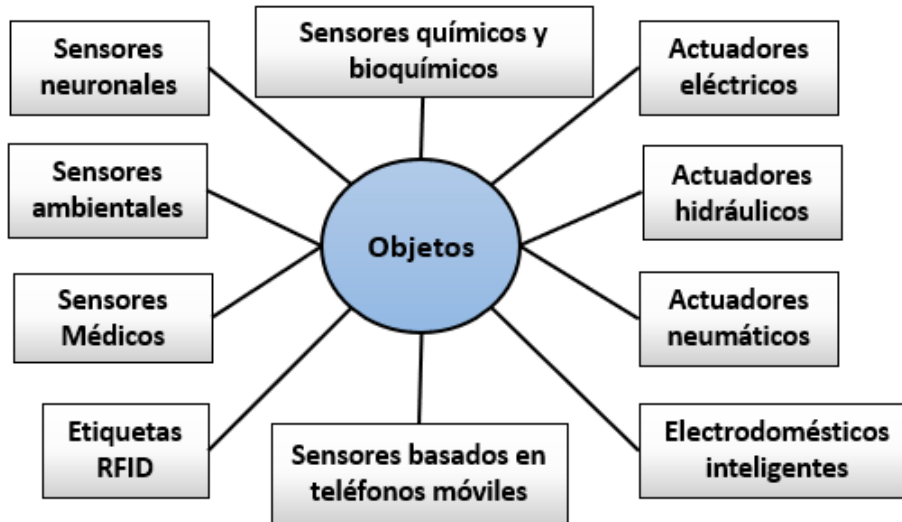


Figura 9. Tipos de objetos [63].

Estos objetos pueden ser fabricados por diferentes empresas por lo que, tanto los componentes físicos como el software que tienen instalado pueden variar de una empresa a otra por lo que la interoperabilidad entre dispositivos debe ser un factor importante para tomar en cuenta a la hora de diseñar un sistema IoT.

### Características

Esta capa cuenta con diferentes funciones o características enfocadas a la obtención de datos, algunas de las principales se enlistan a continuación.

- Se realiza la recopilación grandes volúmenes de información, luego se digitalizan y transmiten para su posterior procesamiento.
- Los sensores son agrupados por su tipo de datos y el propósito para el que están destinado.
- Los datos pueden ser obtenidos y procesados en tiempo real.
- Los sensores utilizan una baja velocidad de datos que consume poca carga de energía.
- Se crean redes de sensores.
- Esta capa se compone de varios tipos de sensores o dispositivos inteligentes [43].

## **Características de los objetos**

Un sistema IoT puede admitir una gran cantidad de dispositivos inteligentes. Debido a esto, cada dispositivo puede contar con distintas propiedades únicas del mismo, pero en general existen algunas características que se deben de tomar en cuenta cuando se diseña un sistema IoT.

**Identidad única:** Una de las características que diferencia a un sensor en un sistema IoT a otros es su identificación única. Cada dispositivo debe de contar con un método de identificación único que permita al usuario del sistema poder diferenciar un objeto de otro y también que el usuario pueda mediante el acceso remoto controlar, monitorear y consultar información de los dispositivos a través de internet [64] [24].

**Metainformación:** Además de la identificación única, es necesario también tener datos del dispositivo los cuales describan su forma y funcionamiento [63]. Esto para que otros objetos dentro del sistema IoT puedan identificarlo y ubicarlo adecuadamente.

**Controles de seguridad:** El propietario del objeto puede implementar restricciones o reglas a los dispositivos que intenten interactuar con él [63]. Esto para evitar posibles de ataques a la integridad del objeto.

**Fuente de energía:** Otra característica de gran importancia es la duración de la batería o contar con una fuente de energía constante, esto debido a que algunos sensores pueden ser instalados en zonas de difícil acceso y tener que cambiar la fuente de energía constantemente sería un inconveniente para el sistema por los recursos que ocuparía realizar esta tarea [64].

**Consumo energético:** De manera similar a la anterior, se debe de tener en cuenta que los dispositivos estén diseñados o configurados para funcionar de manera eficiente con un bajo consumo de energía. Esto para mejorar el rendimiento de la batería o fuente de energía y evitar un remplazo constante de ella [64].

**Protocolos de comunicación interoperables:** Los dispositivos pueden soportar varios protocolos de comunicación (WIFI, ethernet, Bluetooth, Zigbee, entre otros) para comunicarse con otros objetos o también con la capa de plataforma [24].

Que los dispositivos electrónicos se desarrollen con capacidades cada vez más superiores como mayor duración de la fuente de energía o costos cada vez más económicos serán un factor clave para que sistemas IoT puedan tener un mayor alcance en el futuro.

## Descripción de objetos

En la Capa Objetos la variedad de dispositivos que pueden ser implementados es enorme. Hay que tomar en cuenta que cada dispositivo debe de tener capacidades que les permita transmitir y recibir datos para que puedan ser utilizados en este marco de referencia.

En la tabla 10, se muestra una descripción de los dispositivos inteligentes y sensores más utilizados en un sistema IoT, así como algunos ejemplos de este tipo de objetos y el dominio de aplicación en el cual pueden utilizarse.

Objeto	Descripción	Ejemplos	Dominio de aplicación
<i>Etiquetas RFID</i>	Las etiquetas RFID utilizan la tecnología de identificación por radiofrecuencia para transmitir los datos almacenados en ellas y son leídos por un lector de RFID mediante ondas de radio [63].	Etiquetas RFID pasivas, Etiquetas RFID Activas	Smart Manufacturing
<i>Sensores basados en teléfonos móviles</i>	Son sensores utilizados en conjunto con un teléfono móvil con capacidades de comunicación y procesamiento de datos [63].	Teléfonos móviles	Smart Cities, Smart Home, Smart Buildings, Smart Health
<i>Sensores ambientales</i>	Son utilizados para detectar parámetros en el ambiente como cambio de temperatura, humedad, presión, contaminación del agua o contaminación del aire [63].	Termómetro (temperatura) Barómetro (presión) Sensor de calidad de aire	Smart Buildings, Smart Cities, Smart Home
<i>Sensores neuronales</i>	Son utilizados para medir las señales cerebrales [63].	Diadema con sensor cerebral y neuro sensores integrados.	Smart Health
<i>Sensores médicos</i>	Son utilizados para medir y monitorear parámetros médicos en el cuerpo humano [63].	Termómetro digital corporal, glucómetro, monitor de frecuencia cardiaca, monitor de signos vitales.	Smart Health
<i>Sensores químicos y bioquímicos</i>	Son utilizados para detectar sustancias químicas y bioquímicas [63].	Nariz electrónica (detectar compuestos volátiles), Lengua electrónica (medir gusto o sabores)	Smart Manufacturing

Tabla 10. Tipos de sensores utilizados para la recopilación de datos.

Otro tipo de objetos utilizados además de los sensores son los actuadores. En la tabla 11 se describe los principales tipos de actuadores, así como algunos ejemplos de estos y dominios de aplicación donde pueden ser implementados.

Objeto	Descripción	Ejemplos	Dominio de aplicación
<i>Actuadores eléctricos</i>	Los actuadores eléctricos utilizan la energía eléctrica para realizar un movimiento [63].	Motores de corriente continua/ alterna	Smart Home, Smart Buildings, Smart Cities
<i>Actuadores hidráulicos</i>	Permiten el movimiento mecánico mediante fluido o energía hidráulica [63].	Elevadores y motores hidráulicos.	Smart Manufacturing, Smart Cities
<i>Actuadores neumáticos</i>	Los actuadores mecánicos utilizan la presión del aire para realizar un movimiento [63].	Cilindro neumático	Smart Manufacturing

*Tabla 11. Tipos de actuadores utilizados para realizar acciones.*

### 3.2.2.- Capa de tecnologías de red

Una vez que los objetos obtienen los datos, es necesario cargar estos datos y enviarlos ya sea a un nodo base o al Gateway. Estos dispositivos se encargarán de enviar los datos, ya sea a través de internet o dentro de la misma red a donde se analizarán y procesarán los datos.

En esta capa se determinan las tecnologías de comunicación necesarias para transferir los datos obtenidos por los objetos a la capa donde se procesarán mediante canales de transferencia seguros [44]. Se debe tener en cuenta que cada dispositivo puede tener diferentes protocolos de conectividad, capacidades de almacenamiento, formas de procesamiento de datos y potencia de transmisión dentro de la misma red [28]. Los protocolos utilizados en esta capa son WiFi, Bluetooth, Z-wave, Zigbee, LoRa, RFID, entre otros. En la figura 10 se pueden observar algunos de las tecnologías de comunicación que son utilizadas en sistemas IoT.

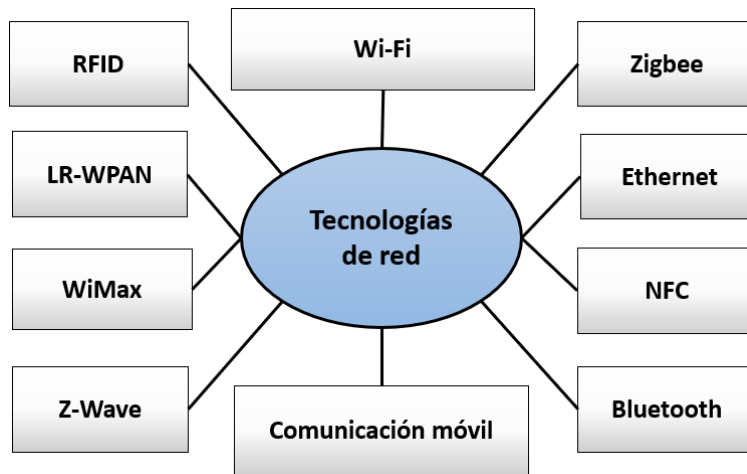


Figura 10. Tecnologías de comunicación utilizadas en sistemas IoT [50] [24].

En un sistema IoT debe de encontrar la manera que un gran conjunto de objetos heterogéneos pueda comunicarse armónicamente buscando la manera de que exista un lenguaje y procedimientos comunes que permitan una comunicación estable entre los dispositivos [65].

### Características

Las funciones o características que se desempeñan en esta capa están enfocadas principalmente a establecer los protocolos de comunicación utilizados por los objetos para el envío de la información. A continuación, se describen las principales características de esta capa.

- Debido a la gran red de objetos que integran un sistema IoT la comunicación entre estos objetos y servicios es fundamental [43].
- Soportar grandes volúmenes de información recopilados en la capa de objetos [43].
- Esta capa puede admitir distintos protocolos de comunicación y requisitos de seguridad en una red a gran escala [43].

En la tabla 12, se presenta una descripción de los estándares y tecnologías de comunicación más utilizados en un ambiente IoT. Estos suelen utilizarse para brindar una comunicación confiable y segura entre los componentes del sistema.

Concepto	Descripción
<i>Bluetooth Low Energy</i>	Es una tecnología de comunicación de corto alcance la cual permite la transferencia de voz y datos entre dispositivos. Cuenta con un alcance similar a la tecnología Bluetooth normal, pero con un consumo mucho menor de energía [43].
<i>ZigBee</i>	Es una tecnología estándar de comunicaciones inalámbricas de corto alcance y bajo consumo de energía. Está basada en el protocolo IEEE 802.15.4 en el cual está definido el nivel físico y el control de acceso a medios de redes inalámbricas de área personal que maneja tasas bajas de transmisión de datos. Se puede aplicar en cualquier área que utilice soluciones inalámbricas, pero mayormente es utilizado en el entorno industrial [66].
<i>Z-wave</i>	Es una tecnología estándar inalámbrica de corto alcance de bajo costo, bajo consumo energético y confiable. Su principal función es contar con una comunicación confiable entre una unidad de control con los dispositivos conectados. Está diseñado para redes con un ancho de banda bajo. A diferencia de ZigBee, Z-wave solo admite 232 dispositivos finales y ZigBee 65,000 [66].
<i>WI-FI</i>	Tecnología de red inalámbrica basada en la familia de protocolos IEEE 802.11 que mediante ondas de radio permite la comunicación entre dispositivos [44].
<i>LTE</i>	Es un estándar de comunicación inalámbrica que permite la transferencia de datos a alta velocidad entre telefonía móvil. Permite altas tasas de bits con baja latencia. Alcanza velocidades de subida de 86.5 Mbps y 172.8 Mbps [67].
<i>LoraWAN</i>	Es un estándar de comunicación como WIFI y bluetooth para redes de baja potencia y área amplia que utiliza un tipo de modulación en radiofrecuencia como la AM o FM, patentado por Semtech. Sus siglas significan red de área amplia de largo alcance y baja potencia. Una de sus ventajas es el bajo consumo de energía, la facilidad de realizar conexiones punto a punto. Además, cuenta con una baja tasa transferencia de datos de 0.3 a 0.5 kbps [24].
<i>5G</i>	Es un estándar de comunicación inalámbrica de telefonía móvil que permite la transferencia de datos a velocidades mucho más altas que las disponibles en 4g. 5G es la siguiente generación de la tecnología móvil 4G con mejores velocidades y mayor cobertura que las actuales. Funciona con una frecuencia desde 5 GHz hasta los 300 GHz, tasas de transferencia desde 1Gbps a mayores y latencia de entre 1 y 2 milisegundos a diferencia de la 4g que utiliza en 50 y 100 milisegundos [68].

*Tabla 12. Estándares y tecnologías de comunicación utilizadas en un sistema IoT.*

Tener un conocimiento general de los estándares y tecnologías de comunicación ayuda al desarrollador a poder elegir más fácilmente el que mejor se adapte a su proyecto. En la tabla 13 se especifican las características principales de algunas de las tecnologías de red que pueden ser tomadas como referencia para el desarrollo de un sistema, así como los dominios de aplicación en donde pueden ser integradas.

<b>Tecnología</b>	<b>Velocidad de datos</b>	<b>Rango</b>	<b>Consumo de energía</b>	<b>Dominio de aplicación</b>
<i>Bluetooth</i>	1 - 25 Mb/s	8 – 10 m	Medio BLE: Muy bajo	Smart home
<i>ZigBee</i>	250 Kb/s	Hasta 100 m	Bajo	Smart home, smart health
<i>Z-Wave</i>	100 kb/s	30 – 100 m	Bajo	Smart home, smart building
<i>WI-FI</i>	54 Mb/s, 6.75Gb/s	20 – 100 m	Alto	Smart cities, smart home, smart building smart transport, smart manufacturing, smart grid
<i>3G</i>	24.8 Mb/s	1 – 5 mi	Alto	Smart cities, smart transport, smart manufacturing, smart grid
<i>4G</i>	800 Mb/s	1 – 6 mi	Alto	Smart cities, smart transport, smart manufacturing, smart grid
<i>LoRAWAN</i>	0.3-50 Kb/s	<30 Km	Bajo	Smart environment, smart cities, smart agriculture

Tabla 13. Comparación de tecnologías de comunicación para sistemas IoT [50] [24] [69] [28].

### 3.2.3.- Capa de comunicación

En esta capa se determina la presentación y el formato de los datos para que estos puedan ser enviados por los dispositivos y recibidos por la plataforma a través de diferentes protocolos de aplicación. Aunque el Protocolo de Internet (IP) está adaptado para la mayoría de los tipos de comunicación, tendrá algunos problemas cuando se aplique a IoT. Debido a esto se han desarrollado distintos protocolos de aplicación que faciliten la comunicación sobre los protocolos TCP/IP o UDP/IP. En la figura 11 se enlistan los protocolos de aplicación más utilizados en un sistema IoT.

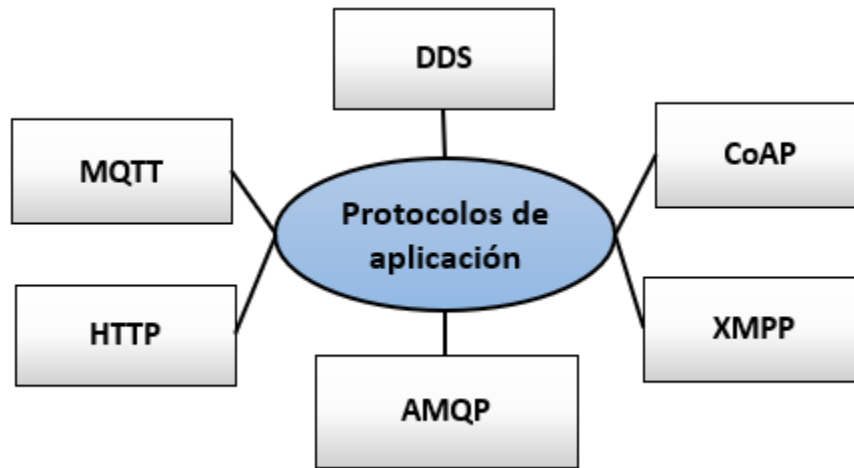


Figura 11. Protocolos de aplicación utilizados en un sistema IoT.

En la tabla 14 se describen los protocolos de aplicación más utilizados para aplicaciones IoT.

Protocolo	Descripción
<i>Protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP)</i>	Es un protocolo que se encarga de la colaboración y distribución de información en el sistema. La comunicación entre clientes y servidores se realiza mediante el envío de solicitudes HTTP y la recepción de respuestas HTTP. El servidor envía datos a través del URL y el cliente recibe datos a través de un URL particular. HTTP utiliza TCP como protocolo de transporte predeterminado y TLS / SSL para la seguridad [70].
<i>Protocolo de aplicación restringida (CoAP)</i>	Es un protocolo utilizado en aplicaciones IoT. Puede ser considerado como una alternativa a HTTP debido a que incorpora optimizaciones para entornos de aplicación restringidos [63]. CoaP modifica algunas funcionalidades HTTP como el bajo consumo de energía y el funcionamiento en presencia de enlaces ruidosos y con pérdidas, esto para cumplir con los requisitos de aplicaciones IoT [44].
<i>Transporte de telemetría de cola de mensajes (MQTT)</i>	Es un protocolo de publicación / suscripción que se ejecuta sobre TCP. Los clientes son editores / suscriptores y el servidor actúa como un intermediario al que los clientes pueden conectarse a través de TCP. Esta comunicación se lleva a cabo a través de un Bróker cuyo trabajo es coordinar las suscripciones y también autenticar al cliente por seguridad [44].

<i>Protocolo extensible de mensajería y presencia (XMPP)</i>	Es un estándar de mensajería instantánea que se utiliza para mensajería multiusuarios, llamadas de voz y video y también telepresencia. XMPP permite que las aplicaciones de mensajería instantánea logren autenticación, control de acceso, medición de privacidad, cifrado salto a salto y de extremo a extremo, y compatibilidad con otros protocolos. Se ejecuta en una variedad de plataformas basadas en Internet de manera descentralizada [44].
<i>Servicio de distribución de datos (DDS)</i>	Es un protocolo de publicación-suscripción para comunicaciones M2M en tiempo real. A diferencia de otros protocolos de aplicación de publicación-suscripción como MQTT o AMQP, DDS se basa en una arquitectura sin intermediarios y utiliza multidifusión para brindar una excelente calidad de servicio (QoS) y una alta confiabilidad a sus aplicaciones [44].

*Tabla 14. Protocolos de aplicación utilizados en un sistema IoT.*

Una vez que los dispositivos están desplegados y las tecnologías de comunicación entre ellos están configurados, se debe de contemplar la plataforma que se utilizará para tratar los datos. Esto para verificar cuales son los protocolos de aplicación que la plataforma que se utilizará admite y en base a esto determinar cuales se utilizarán para realizar el envío y recepción de los datos.

### 3.2.4.- Capa de plataforma

Una vez que los dispositivos están desplegados y los protocolos de comunicación entre ellos están configurados, se debe de contemplar la plataforma que se utilizará para tratar los datos.

La capa plataforma sirve como medio central de comunicación en una infraestructura IoT. Esta permite la interacción de dispositivos heterogéneos sin tener en cuenta las características individuales de cada uno. Además, esta capa ofrece al usuario almacenamiento para los datos generados por la capa de objetos, así como, servicios adicionales de procesamiento, análisis y monitoreo de la red de sensores [30].

#### Características

Una plataforma de IoT está constituida generalmente de 6 bloques que abarcan las funciones más importantes para este entorno. En la figura 12 se muestra una breve descripción de los componentes que integran una arquitectura de 6 bloques.

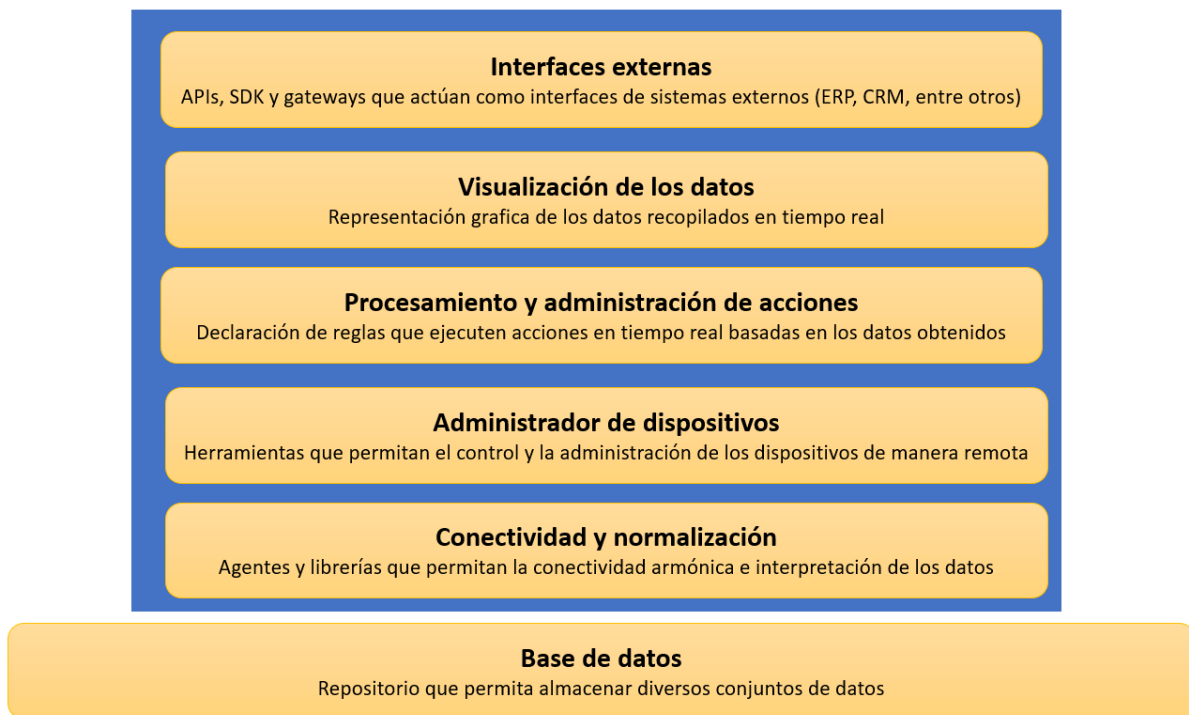


Figura 12. Arquitectura de una plataforma IoT [37].

- **Conectividad y normalización:**
  - En esta sección se reúnen los diferentes protocolos y formatos de datos que permitan a la plataforma garantizar la transmisión de datos y la interacción con los dispositivos conectados [37].
- **Administración de dispositivos:**
  - Esta sección es la encargada de garantizar que los objetos conectados se encuentren funcionando correctamente mediante la ejecución de parches y actualizaciones [37].
- **Base de datos:**
  - En esta sección se almacenan los datos obtenidos de los sensores o dispositivos. Se debe de tener en cuenta el contar con un almacenamiento escalable que permita el aumento de sus capacidades físicas debido al incremento en la obtención de datos [37].
- **Procesamiento y gestión de acciones:**
  - Esta sección se encarga de la programación de activadores de acciones y eventos basados en reglas que permiten la ejecución de acciones basadas en datos de sensores específicos o en situaciones especiales [37].
- **Visualización:**
  - Esta capacidad en una plataforma IoT permite la representación de los datos a través de diversos gráficos ya sean, lineales, apilados o circulares, de manera que puedan ser interpretados por los usuarios mostrando tendencias desde paneles de visualización [37].
- **Interfaces externas:**
  - Esta capacidad permite la integración con sistemas de terceros y el resto del ecosistema de TI a través de interfaces de programación de aplicaciones (API) integradas, kits de desarrollo de software (SDK) y puertas de enlace [37].

### 3.2.5.- Capa de aplicación

Esta capa representa uno de los valores más importantes en términos del usuario debido a que es la encargada de presentar una interfaz al usuario con los módulos necesarios para controlar y monitorear los recursos que integran el sistema IoT. Las aplicaciones cuentan con capacidades para que los usuarios puedan visualizar y analizar el estado del sistema en tiempo real, además de permitir consultar o interactuar con los dispositivos. En la figura 13 se muestran los dominios de aplicación en los cuales se pueden integrar sistemas IoT.

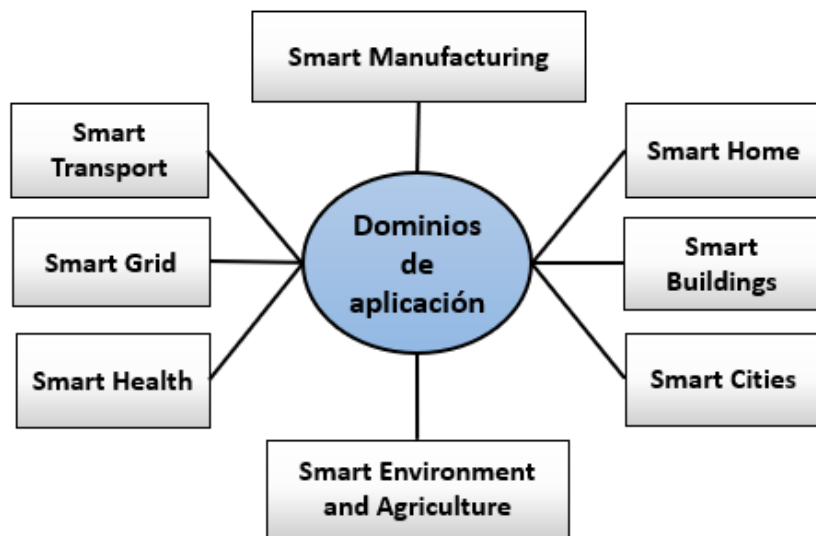


Figura 13. Dominios de aplicación de IoT [50].

La variedad de dominios de aplicación para este tipo de sistemas está creciendo rápidamente debido al desarrollo de nuevas tecnologías que permiten establecer comunicación entre objetos. En la tabla 15 se presenta una descripción de los dominios de aplicación en los cuales puede ser aplicado el marco de referencia para el desarrollo de sistemas IoT y que tienen un gran impacto en el mundo real.

Concepto	Descripción
<i>Smart Cities</i>	Se puede definir como una ciudad que utiliza tecnologías de la información y comunicación para que su infraestructura, así como los servicios públicos sean más interactivos, eficientes y la ciudadanía tenga más conciencia de ello [25].
<i>Smart Buildings</i>	Smart buildings se refiere a la utilización de procesos automatizados que faciliten el control y manejo de sus operaciones. Estas estructuras utilizan la tecnología de la información para tener el control de una variedad de subsistemas diferentes de manera que estos proporcionen datos para mejorar el rendimiento del edificio [25].
<i>Smart Transport</i>	También conocidos como sistemas de transporte inteligente, Se refiere a una red de dispositivos inteligentes integrados para monitorear y controlar los subsistemas en los vehículos. Además, dándoles la capacidad para percibir y compartir de manera eficientes datos relacionados con el tráfico vehicular [66].
<i>Smart Health</i>	El IoT es utilizado en el campo para cuidados de la salud con el fin de dar seguimiento y monitoreo de estados fisiológicos, obtención de datos y realizar análisis de los pacientes mediante la incorporación de sensores y actuadores [44].
<i>Smart Manufacturing</i>	Se refiere a la utilización de dispositivos inteligentes implementados en procesos completos de fabricación los cuales, mediante el monitoreo, la recolección y el análisis de datos generados busca detectar posibles mejoras o irregularidades en procesos [44].
<i>Smart Grid</i>	El termino Smart Grid se refiere a una infraestructura de energía eléctrica que emplea tecnologías informáticas y de comunicaciones para controlar y mejorar la utilización de los recursos energéticos [66].
<i>Smart Home</i>	El termino Smart home se refiere a la integración de dispositivos inteligentes en el hogar con la finalidad de poder monitorear y controlar los electrodomésticos o sistemas integrados en la vivienda de forma remota [44].
<i>Smart Agriculture</i>	Debido a que los sensores pueden estar en cualquier lugar, pueden utilizarse para ayudar a mejorar y fortalecer el trabajo agrícola mediante la recopilación de datos de los cultivos como humedad y nutrientes del suelo, manejar el control del agua, mediante sensores determinar fertilizantes apropiados para cada tipo de planta [71] [28].
<i>Smart Environment</i>	IoT es utilizado para recopilar datos en el ambiente como temperatura, humedad, residuos de plaguicidas, partículas PM 2.5 para medición de la calidad del aire. Una vez obtenidos los datos son analizados para extraer la información útil como ubicación, cantidad de residuos, tamaño de la muestra, entre otros.

*Tabla 15. Dominios de aplicación para un sistema IoT.*

La forma en que se representa la información está enfocada a los dominios de aplicación mencionados en este documento, el sector ambiental y agrícola. La representación de los datos puede incluir gráficas, ubicación de los objetos, datos históricos, identificación de los dispositivos en base a los requerimientos del usuario. A continuación, en la tabla 16 se describen algunas áreas de aplicación comunes en los sectores mencionados.

<b>Dominio de aplicación</b>	<b>Área de aplicación</b>	<b>Ejemplos de aplicación</b>
<i>Sector agrícola</i>	Invernaderos	Control de condiciones del microclima. Control de niveles de humedad y temperatura en las plantas. Control de nutrientes en las plantas.
	Monitoreo de sembradío	Obtención de datos continuos en tiempo real. Control de fertilización. Control de electricidad y riego.
<i>Sector Ambiental</i>	Monitoreo de contaminación atmosférica	Control de emisiones de CO2.
	Detección de incendios forestales	Monitoreo de gases de combustión y condiciones de incendio.
	Monitoreo meteorológico	Monitoreo de condiciones climáticas como humedad, temperatura, presión, velocidad del viento y lluvia
	Inundaciones fluviales	Monitoreo de las variaciones del nivel del agua en los ríos, presas y embalses durante los días de lluvia

*Tabla 16. Áreas de aplicación de IoT en sectores de impacto agrícola y ambiental [23].*

En este capítulo se realizó una descripción de las capas y componentes que integran del marco de referencia. Iniciando con la capa de objetos y finalizando con la capa de aplicación. Se describieron las tecnologías que pueden ser utilizadas para crear un sistema IoT, dando la facilidad al usuario de utilizar los componentes propuestos, así como orientarlo en la búsqueda de aquellos elementos que no están presentados en este documento.

En los capítulos 4 y 5 se describirán dos casos de aplicación donde se abordarán los dominios de aplicación agrícola y ambiental.

## **CAPÍTULO 4:**

### **CASO DE APLICACIÓN #1: PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE HUERTOS URBANOS**

#### **4.1.- Planteamiento del problema del caso de aplicación**

Desde tiempos antiguos, la agricultura ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de la humanidad. Los procesos de cultivo han ido desarrollándose con el paso del tiempo, pero actualmente ha existido un estancamiento con la utilización de técnicas tradicionales en el mundo [56].

Por otra parte, los países con un desarrollo económico estable cuentan con la capacidad para desarrollar y utilizar técnicas de cultivo más sofisticadas implementando tecnologías recientes. Esto con la finalidad de hacer más eficiente el uso de los recursos naturales e incrementar la productividad [56].

A causa de esto, se deben analizar los distintos factores que influyen en el desarrollo de los cultivos, con la finalidad de encontrar las limitaciones actuales y así poder proponer herramientas que ayuden a mejorar los resultados de la cosecha [54].

Una de las tecnologías actuales que poco a poco está teniendo un mayor impacto en la sociedad principalmente las áreas agrícolas, es la implementación de sistemas IoT para la automatización de cultivos. Debido a esto, se deben contemplar estrategias de diseño e implementación para poder controlar y administrar los datos generados del mundo físico.

En México, la implementación de huertos urbanos se está convirtiendo en una práctica cada vez más común entre las familias. Un huerto son espacios destinados al cultivo de plantas a escala doméstica. Estos pueden estar localizados al aire libre o al interior de áreas adaptadas que faciliten el cultivo de plantas. El desarrollo de huertos que permitan a las familias abastecerse constantemente de recursos alimenticios propios y en algunos casos generando una fuente de ingresos extra han sido algunas de las razones de su rápido crecimiento [72].

## **4.2.- Objetivo**

Implementar un sistema IoT que permita al usuario el monitoreo, control y gestión de datos obtenidos, así como la implementación de objetos en un huerto urbano a bajo costo basándose en el marco de referencia propuesto.

## **4.3.- Objetivos específicos:**

- Determinar e implementar los objetos necesarios para que las condiciones del invernadero urbano sean las óptimas.
- Establecer las tecnologías y protocolos de comunicación que se utilizarán y que faciliten la interacción entre los objetos.
- Realizar un análisis de las plataformas de código abierto que cuenten con la opción de instalación local.
- Determinar y seleccionar qué plataforma es la que cumple con los requerimientos necesarios para este proyecto.
- Diseñar una interfaz gráfica que facilite al usuario la visualización de los datos.

## **4.4.- Metodología**

Para cumplir con la capa objetos se realizó una investigación acerca de los sensores y actuadores que facilitarían el control y monitoreo del estado actual del invernadero. En la capa tecnologías de comunicación y en la capa de red se analizarán que protocolo y estándares que sean compatibles con los objetos seleccionados y permitan una comunicación entre los objetos y la capa plataforma.

Para llevar a cabo la selección de la plataforma se realizó una investigación documentada para conocer cuáles eran las plataformas más utilizadas actualmente que fuesen de código abierto, así como las características principales de cada una. Seguido de esto, se analizaron las características tanto generales como individuales; se analizaron las cualidades que facilitarían la implementación de IoT en un huerto urbano, así como una comparación general de las plataformas que mostrará las ventajas de cada una. Al haber realizado este análisis, se prosiguió con la instalación e implementación de la plataforma seleccionada.

Para la capa de aplicación se diseñó una interfaz visual en la cual el usuario podrá tener acceso a los datos obtenidos de los objetos en tiempo real.

#### 4.5.- Esquema para la implementación del marco de referencia propuesto en huertos de cultivo

Para la realización del esquema se consideró las cinco capas del marco propuesto. La capa de objetos para selección de los dispositivos. La capa de tecnologías de comunicación y de red para la elección de la tecnologías, estándares y protocolos de comunicación que se utilizarán. La capa de plataforma en la cual se almacenarán y procesarán los datos obtenidos por los objetos. Por último, la capa de aplicación en la cual el usuario podrá interactuar y visualizar los datos obtenidos y además podrá monitorear el estado en tiempo real de los objetos. En la figura 14, se muestra la integración del marco de referencia propuesto al caso de aplicación.

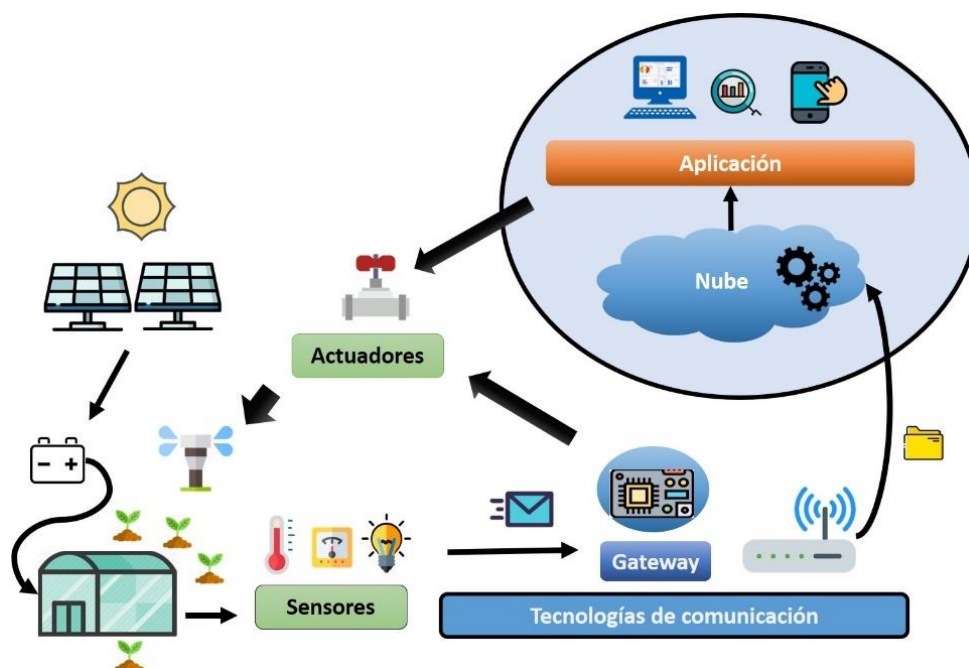


Figura 14. Representación gráfica del prototipo para un invernadero inteligente

La figura 14 es una representación visual de la funcionalidad del proyecto en su fase de implementación. Iniciando con el almacenamiento de energía mediante paneles solares, seguido de la obtención de los datos registrados de las condiciones de los cultivos dentro del invernadero mediante los sensores. Después estos datos son enviados a un servidor alojado en la nube para su procesamiento y posterior visualización.

En los siguientes subtemas se describirá más a fondo como cada capa del marco de referencia propuesto ayudó al desarrollo del proyecto.

#### 4.6.- Capa objetos

En esta capa se analizaron distintos tipos de objetos que pudieran utilizarse para monitorear el estado actual de las condiciones climáticas de un invernadero como lo son la temperatura y humedad del ambiente. De la lista de objetos descrita en el capítulo 3 se buscó que tipo de sensores podrían adaptarse mejor para obtener los datos requeridos. Se optó por implementar sensores ambientales debido a las capacidades de estos sensores están enfocadas en obtener datos de su entorno.

Para cumplir con las especificaciones de este proyecto se realizaron pruebas con sensores y microcontroladores que contaran con capacidades básicas para obtener la temperatura y humedad actual y que además pudieran comunicarse con otros dispositivos para el envío y recepción de datos.

Se probaron las placas electrónicas ChipKit Uno32 y la placa de desarrollo NodeMcu (ESP8266) para verificar su funcionamiento y los requisitos necesarios para establecer comunicación con otros dispositivos. Además, se probaron sensores para obtener la temperatura y humedad como el sensor LMT84LP y el sensor DHT11 que son sensores de bajo costo y fácil implementación.

En la tabla 17 se describe brevemente los componentes que se probaron para crear el prototipo.




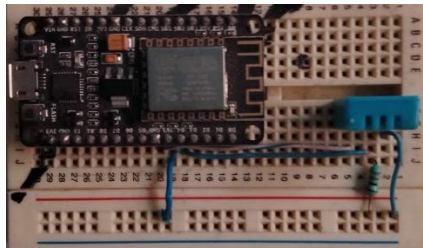
Objeto	Descripción	Especificaciones	
<b>Chip KIT Uno32</b>	Es una plataforma que permite el desarrollo y ejecución de aplicaciones basadas en microcontroladores similar al Arduino. [73]	Procesador PIC32MX320F128H. Flash de 128K, RAM de 16K. 42 líneas de E/S disponibles. Puerto micro USB.	
<b>Placa de desarrollo NodeMcu (ESP8266)</b>	Es una placa electrónica similar al Arduino que se utiliza para ejecutar aplicaciones basadas en microcontroladores. Cuenta con un Chip integrado ESP8266 con conexión WIFI y compatible con los protocolos TCP/IP [74].	13 pines digitales. 1 pin analógico. Puerto micro USB. Alimentación: 5 Vcc. 4 MB de memoria FLASH Wi-Fi 2,4 GHz 802.11 b / g Soporta WPA / WPA2 Protocolos TCP / IP integrada	
<b>Sensor de temperatura y humedad DHT11</b>	Es un sensor digital que detecta y mide la temperatura y humedad en el ambiente de bajo costo y fácil implementación [74].	Alimentación: 3,3 a 5,5 Vcc Rango de humedad: 20 a 90% RH Rango de temperatura: 0 a 50°C Tolerancia humedad: +/- 5% RH Tolerancia de temperatura: +/- 2°C	

Tabla 17. Objetos utilizados.

Al conectar los sensores y establecer comunicación los dos dispositivos funcionaban adecuadamente, pero para el envío de los datos a la plataforma donde se almacenarán el ChipKit Uno32 debía de contar con módulos extra para poder comunicarse a diferencia de la placa NodeMcu que ya contaba con un módulo integrado que permite la comunicación mediante WIFI.

Los objetos que se seleccionaron en base a las especificaciones del proyecto fueron la placa de desarrollo NodeMcu por la facilidad para ejecutar aplicaciones básicas y que cuenta con un Chip integrado ESP8266 con conexión WIFI. Para la obtención de los datos se eligió el Sensor de temperatura y humedad DHT11 debido a que con un solo objeto se pueden medir los parámetros de humedad y temperatura requeridos, también es un sensor de bajo costo y puede ser compatible con múltiples placas de desarrollo como la NodeMCU como se puede apreciar en la figura 15.



*Figura 15. Configuración física entre los objetos NodeMcu y DHT11*

En la figura 15 se puede observar cómo se establece la comunicación entre los objetos mediante la configuración física de componentes electrónicos. Esto para que los objetos en conjunto puedan obtener los datos del entorno para posteriormente visualizarlos en un equipo de cómputo.

Una vez seleccionados los objetos que serán utilizados en este proyecto se continúa con la especificación y selección de las tecnologías de red a utilizar como se especifica en el marco de referencia propuesto.

#### **4.7.- Capa tecnologías de red**

Para abordar la capa de Tecnologías de red del marco de referencia se utilizó la tecnología de red inalámbrica Wi-Fi debido a que estaba integrada en la placa electrónica NodeMCU. Además, para comunicarse con la plataforma a través de Internet o de forma local existían librerías que facilitaban esta comunicación. El desarrollo del código para establecer la comunicación se llevó a cabo en el IDE Arduino 1.8.19 para posteriormente cargarse y ejecutarse en la placa electrónica.

En la figura 16 se muestra el fragmento de código para poder establecer comunicación entre la tecnología de red seleccionada y el objeto.

```
//Librerías para comunicarse con la plataforma mediante MQTT
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <Wire.h>

//Código para comunicarse con el router
#define ssid      "INFINITUM4679"
#define password  "3647841539"
```

*Figura 16. Código para establecer comunicación entre la red y el objeto.*

Una vez elegidas las tecnologías de red a utilizar y verificar su funcionamiento, se continua con la elección de los protocolos de aplicación que se utilizarán descritos en la capa de comunicación del marco de referencia propuesto.

#### **4.8.- Capa de comunicación**

En esta capa se determina la presentación de los datos y se elige el protocolo de aplicación que permita establecer la comunicación entre la plataforma donde se almacenaran los datos y los objetos.

Para este proyecto se realizaron pruebas con el protocolo MQTT y HTTP puesto que estos son algunos de los protocolos más utilizados en sistemas IoT. Una vez comprobada su funcionalidad, se eligió utilizar el protocolo MQTT debido a su eficiencia en para este tipo de proyectos y su bajo consumo de recursos [75].

Además, el protocolo MQTT es utilizado frecuentemente en comunicación machine to machine (M2M) es decir, aquella tecnología que permita el intercambio de información entre dispositivos, por lo que utilizarlo en equipos con recursos limitados como con los que se dispone para este proyecto, traerá mayores beneficios que si se utilizaran protocolos como el HTTP [75]. En la figura 17 se puede observar el funcionamiento del protocolo MQTT.

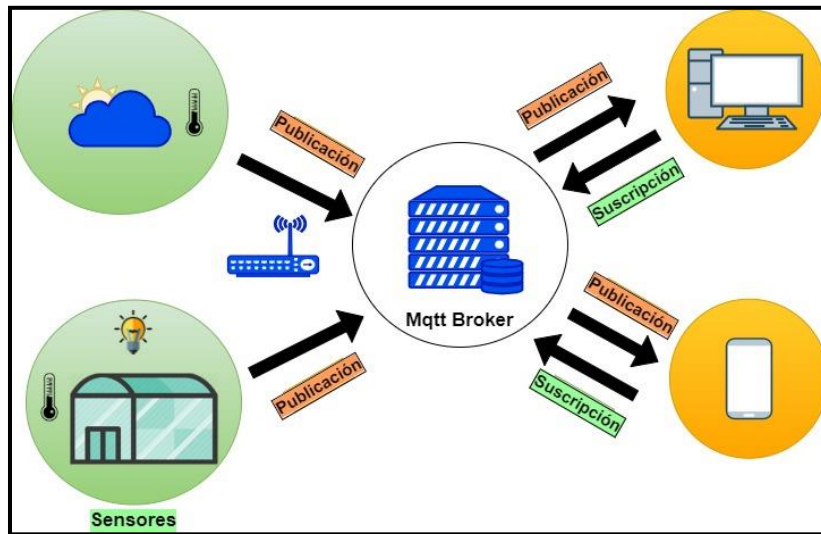


Figura 17. Funcionamiento básico del protocolo MQTT [75].

Primero se obtienen los datos del entorno mediante los objetos para posteriormente publicarlos o enviarlos al servidor encargado de distribuir la información a los clientes interesados también llamado *broker MQTT* en inglés. Después los dispositivos cliente que deseen obtener información de temas del bróker deberán suscribirse primero para así poder recibir las publicaciones que el bróker realice respecto al tema suscrito [76].

En la figura 18 se muestra el fragmento de código de prueba desarrollado para que se publiquen los datos obtenidos por los objetos en el sitio de prueba, esto para una vez pasadas las pruebas se pueda elegir el sitio final donde se almacenarán los datos. Teniendo en cuenta que antes de realizar la publicación se debe de haber comprobado que el servidor acepte el protocolo de comunicación a utilizar.

```

// Convert the value to a char array
char tempString[8];
Serial.print("Temperature: ");
Serial.println(tempString);
—client.publish("v1/devices/me/telemetry", tempString);

// Convert the value to a char array
char humString[8];
dtostrf(humidity, 1, 2, humString);
Serial.print("Humidity: ");
Serial.println(humString);
—client.publish("v1/devices/me/telemetry", humString);

```

Figura 18. Fragmento de código para publicación de datos.

Se debe de tener en consideración hacia donde se pretende enviar los datos y cuales protocolos de aplicación puede admitir, esto para que el desarrollador tenga en cuenta que protocolos serán los más adecuados para realizar el envío de los datos.

Una vez elegido el protocolo de comunicación y verificar su compatibilidad con los objetos mediante pruebas, se continua con la elección de la plataforma que se utilizará para el almacenamiento y procesamiento de los datos.

#### 4.9.- Capa plataforma

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 2, una plataforma IoT permite la interacción de dispositivos heterogéneos sin tener en cuenta las características individuales de cada uno. Además, ofrece al usuario almacenamiento para los datos generados por la capa de objetos, así como, servicios adicionales de procesamiento, análisis y monitoreo de la red de sensores [30].

Debido a que existen una gran variedad de plataformas como Thingboard, ThingSpeak, Sitewhere, MainFlux, Thinger entre las más conocidas, que cuentan con capacidades para recibir, almacenar y procesar los datos recopilados por los sensores, se decidió utilizar una plataforma que tuviera estas funcionalidades incorporadas [37].

Para elegir que plataforma se utilizaría se realizó una investigación de que plataforma pudiera adaptarse mejor para el caso de estudio presentado teniendo en cuenta tanto las funcionalidades que tienen en común, así como las individuales. Después de esto, se llevó a cabo la implementación y configuración de la plataforma seleccionada. Por último, se realizaron pruebas básicas para comprobar su funcionamiento. En la siguiente tabla muestra las plataformas que se analizaron y sus principales características.

Plataforma	Características
<b>Sitewhere</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Admite la ejecución ilimitada de aplicaciones de IoT en una sola instancia.</li> <li>• Controla un número ilimitado de dispositivos mediante operaciones de comando por lotes.</li> <li>• Los dispositivos se pueden agregar mediante el autorregistro o servicios REST.</li> <li>• Puede ejecutarse en la nube o localmente.</li> </ul>
<b>Mainflux</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protocolos de aplicación compatibles HTTP, MQTT, WebSocket y CoAP</li> <li>• Administración y aprovisionamiento de dispositivos</li> <li>• Control de acceso detallado</li> <li>• Soporte de instrumentación y registro de plataforma</li> <li>• Implementación basada en contenedores con Docker</li> </ul>

<b>Kaa platform</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilita la interoperabilidad entre dispositivos.</li> <li>• Realiza monitoreo de dispositivos en tiempo real.</li> <li>• Proporciona actualizaciones de datos operativos como datos de configuración desde el servidor hasta los puntos finales.</li> <li>• Cuenta con una diversa variedad de protocolos de comunicación Wi-Fi, Ethernet, ZigBee, MQTT, CoAP, XMPP, TCP, HTTP, etc.</li> </ul>
<b>Thingsboard</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión de todos los dispositivos conectados mediante API del lado del servidor.</li> <li>• Transforma y normaliza los datos del dispositivo y facilita las alarmas para activar alertas en todos los eventos de telemetría, actualizaciones e inactividad.</li> <li>• Permite habilitar funciones específicas de casos de uso mediante cadenas de reglas personalizables.</li> <li>• Facilita la recopilación, almacenamiento y visualización de datos.</li> <li>• Permite la recepción de datos en tiempo real.</li> </ul>
<b>Thinger</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plataforma sólida para detectar y activar dispositivos en tiempo real.</li> <li>• Admite protocolos destacados como CoAP y MQTT.</li> <li>• Altamente escalable, seguro para alojar datos con una consola de administración.</li> <li>• Codificación totalmente compatible con hardware moderno como Arduino, Raspberry Pi, etc.</li> </ul>
<b>ThingSpeak</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Configurar dispositivos para enviar datos a ThingSpeak utilizando protocolos de IoT.</li> <li>• Visualizar los datos de sus sensores en tiempo real.</li> <li>• Agregar datos a pedido de fuentes de terceros.</li> <li>• Utilizar el poder de MATLAB para dar sentido a sus datos de IoT.</li> <li>• Ejecutar sus análisis de IoT automáticamente en función de horarios o eventos.</li> </ul>

Tabla 18. Características de plataformas IoT de código abierto. [77] [78] [79] [80] [81] [82]

Después de que se analizaron los datos recopilados se observó que, aunque son plataformas distintas cuentan con características y servicios en común. A continuación, se mencionan estas características.

- **Visualizar los datos generados por los sensores en tiempo real.**
- **Admite protocolos de comunicación destacados como CoAP, MQTT y HTTP.**
- **Gestión de todos los dispositivos conectados.**
- **Puede ejecutarse en la nube o localmente.**

En base a las características comunes, se buscó realizar una comparación de que plataforma cumple a mayor detalle con ellas y cuales traerán consigo un mayor beneficio para este proyecto. La tabla 19 se muestra una comparación de entre las plataformas estudiadas teniendo en cuenta las características mencionadas anteriormente.

Plataforma IoT	Captura de datos	Representación visual de datos	Implementación	Licencia	Dispositivos soportados	Protocolos soportados	Costo
Sitewhere	Si	Si	Local (Gratuita) Nube (Gratuita)	Código abierto	ilimitado	MQTT CoAP	Gratuita
Kaa	Si	Si	Local (Costo) Nube (Gratuita)	Código abierto	5 dispositivos en KAA Cloud	Wi-Fi, Ethernet, ZigBee, MQTT, CoAP, XMPP TCP HTTP	Pago por uso Gratuita con limitaciones
Thingsboard	Si	Si	Local (Gratuita) Nube (Gratuita)	Apache 2.0	ilimitado	CoAP, MQTT, HTTP	Gratuita
Thinger.io	Si	Si	Nube (Costo)	Código abierto	ilimitado	CoAP, MQTT	Pago por uso según la Nube
ThingSpeak	Si	Si	Nube (Gratuita) Nube (Costo)	Código abierto	Gratuita (dispositivos limitados según el envío de datos) Costo(ilimitados)	CoAP, MQTT, HTTP	Pago por uso según la Nube Gratuita por uso limitado en la Nube
Mainflux	Si	Si	Local (Gratuita) Nube (Gratuita)	Código abierto	ilimitado	HTTP, MQTT, WebSocket, CoAP	Gratuita Costo por dispositivos

Tabla 19. Comparación de características principales en una plataforma IoT de código abierto. [77] [78] [79] [80] [81] [82]

Para elegir la mejor opción principalmente se buscaba que fuera una plataforma gratuita y que además pudiera ser instalada en una nube pública.

Después de analizar y comparar las similitudes y diferencias que existen entre algunas de las plataformas IoT de código abierto, se llegó a la siguiente conclusión. Cualquiera de ella ayudaría para la implementación de una arquitectura IoT, pero para el propósito específico de este proyecto se consideró que la plataforma Thingsboard.io es la opción que mejor se adapta a los requerimientos del proyecto.

Se selecciono la plataforma Thingsboard debido a que es una plataforma de IoT de código abierto y gratuito para uso personal y comercial que permite la recopilación, el procesamiento, la visualización y la gestión de dispositivos. Es compatible con todos los protocolos estándar de IoT como CoAP, MQTT y HTTP, así como con implementaciones en la nube y en las instalaciones locales [82]. La plataforma Thingsboard cuenta con dos ediciones de instalación “Thingsboard Professional Edition” y ”Thingsboard Community Edition”.



*Figura 19. Ediciones de Thingsboard.*

Para este proyecto se utilizará la edición comunitaria debido a que esta versión es de uso gratuito y cuenta con la mayoría de características generales que debe tener una plataforma IoT.

Una vez elegida la plataforma que se utilizará para almacenar y procesar los datos y después de haber comprobado que existiera una comunicación estable entre la plataforma y los objetos, se continúa con la configuración de la interfaz para la presentación de los datos teniendo en cuenta el dominio de aplicación.

#### **4.10.- Capa Aplicación**

Para finalizar, el dominio de aplicación que se abordó fue el agrícola esto debido a que los datos que se deseaban recopilar para este prototipo eran mediciones climáticas para un invernadero urbano. La plataforma Thingsboard cuenta con herramientas que permiten la representación visual de los datos de manera privada, así como opciones de configuración para visualizar los datos públicamente en la red sin necesidad de credenciales de acceso.

##### **Ventana principal**

En esta ventana se muestran los datos recolectados de cada dispositivo en tiempo real. Debido a que para este prototipo solo se deseaba obtener una visualización de los datos en tiempo real se establecieron diferentes paneles para la representación de los datos de humedad y temperatura obtenida de los objetos.

En la siguiente figura se muestra la interfaz visual de los datos. La ventana está compuesta de cinco paneles individuales, tres son paneles en los cuales se puede observar la recepción de los datos en tiempo real y los otros dos son una representación de los datos históricos generados en un lapso establecido.

## Paneles informativos

- Control de temperatura
- Control de humedad
- Histórico de temperatura
- Histórico de humedad



Figura 20. Panel representando datos en tiempo real de un dispositivo.

## 4.11.- Resultados

Tomando como referencia los conceptos descritos en cada capa, primero se eligieron los objetos, que se utilizarían para el desarrollo del sistema IoT. De la misma forma, se analizaron las capas tecnologías de red y comunicación escogiendo cuales protocolos sería los que mejor de adaptaran a los objetos seleccionados. Para establecer los componentes de la capa plataforma se analizaron las plataformas descritas en la tabla 17 y se eligió la que cumpliera con los objetivos del proyecto y pudiera establecer comunicación con los objetos. Por último, en la capa de aplicación se diseñaron y crearon los paneles necesarios para la visualización de los datos obtenidos por los objetos.

Una vez que se realizaron las pruebas de funcionalidad y comunicación entre cada capa se dio por terminado el prototipo debido a que cumplió con los objetivos establecidos inicialmente en el proyecto.

Utilizar este marco de referencia como guía para diseñar y crear el prototipo para el control de un huerto urbano ayudo a poder establecer de manera más simple los elementos necesarios para implementar el sistema.

Disponer de una lista de componentes que puedan ser utilizados para crear un sistema IoT, tiene como beneficio facilitar al usuario poder elegir los objetos, protocolos de comunicación, determinar la forma

de almacenamiento y recepción de los datos y hasta diseñar la manera en que se visualizaran los datos sin tener que hacer una investigación a profundidad de cada tópico. Además, utilizar un marco de referencia ayuda a establecer los límites del proyecto al poder diseñar y determinar desde etapas tempranas los componentes que lo integraran.

## **CAPÍTULO 5:**

### **CASO DE APLICACIÓN #2: MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE SENSORES EN LA REGIÓN PASO DEL NORTE**

#### **5.1.- Planteamiento del problema del caso de aplicación**

Debido a la gran cantidad de emisiones contaminantes generadas por automóviles, industrias y cadenas de transporte el riesgo para los residentes de sufrir problemas respiratorios se incrementa significativamente [83]. Los impactos de las emisiones contaminantes relacionadas con el tráfico en la salud respiratoria afectan mayormente a los residentes que se encuentran en áreas concurridas.

En 2019, Ciudad Juárez superó en varias ocasiones el nivel máximo permisible mexicano de 75 microgramos/metro cúbico ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ) en promedios diarios para PM10, mientras que para PM2.5 se superó 4 veces el límite diario de  $45 \mu\text{g} / \text{m}^3$  [84].

La gran cantidad de industrias manufactureras y fabricas contribuyen en gran medida a estos niveles de contaminación, tomando en cuenta también las emisiones diarias que vehículos tanto particulares como privados emiten.

Otro factor importante que han llevado a un rápido deterioro de la calidad del aire y aumento de contaminación son las altas tasas de urbanización y desarrollo industrial en la región de Paso del Norte.

## **5.2.- Objetivo**

Implementar una plataforma de Internet de las Cosas en un entorno virtualizado basado en las capas del marco de referencia propuesto que sea de código abierto y que facilite evaluar por medio de medidores de bajo costo, las concentraciones de material particulado (PM2.5 y PM10), evaluando la calidad del aire asociadas con el transporte, así como la medición de temperatura y humedad.

## **5.3.- Objetivos específicos:**

- Realizar la configuración de los usuarios y dispositivos para la realización de pruebas.
- Realizar pruebas de comunicación entre los dispositivos y la plataforma mediante la configuración de los protocolos vistos en la capa de comunicación.
- Crear un entorno visual que permita al público en general visualizar los datos obtenidos de los dispositivos en tiempo real.
- Mostrar mediante tablas y graficas datos históricos de los datos recopilados de los dispositivos.

## **5.4.- Metodología**

Para cumplir con la capa objetos se realizó una investigación acerca de los sensores que facilitaran el monitoreo de partículas que influyen en la calidad del aire . En la capa tecnologías de comunicación y en la capa de red se analizarán que protocolo y estándares que sean compatibles con los objetos seleccionados y permitan una comunicación entre los objetos y la capa plataforma.

Para llevar a cabo la selección de la plataforma se realizó una investigación documentada para conocer cuáles eran las plataformas más utilizadas actualmente que fuesen de código abierto, así como las características principales de cada una. Seguido de esto, se analizaron las características tanto generales como individuales; se analizaron las cualidades que facilitarán la implementación de una plataforma, así como una comparación general de las plataformas que mostrará las ventajas de cada una.

Al haber realizado este análisis, se prosiguió con la instalación e implementación de la plataforma seleccionada para posteriormente realizar la configuración para que exista una comunicación entre la plataforma y los dispositivos.

Para la capa de aplicación se diseñó una interfaz visual en la cual el usuario podrá tener acceso a los datos obtenidos de los objetos en tiempo real.

### 5.5.- Esquema para la implementación del marco de referencia en medidores de la calidad del aire

Para la realización del esquema se consideraron las cinco capas del marco propuesto. La capa de objetos para selección de los dispositivos. La capa de tecnologías de comunicación y de red para la elección de la tecnologías, estándares y protocolos de comunicación que se utilizarán. La capa de plataforma en la cual se almacenarán y procesarán los datos obtenidos por los objetos. Por último, la capa de aplicación en la cual el usuario podrá interactuar y visualizar los datos obtenidos y además podrá monitorear el estado en tiempo real de los objetos. En la figura 21, se muestra la integración del marco de referencia propuesto al caso de aplicación.

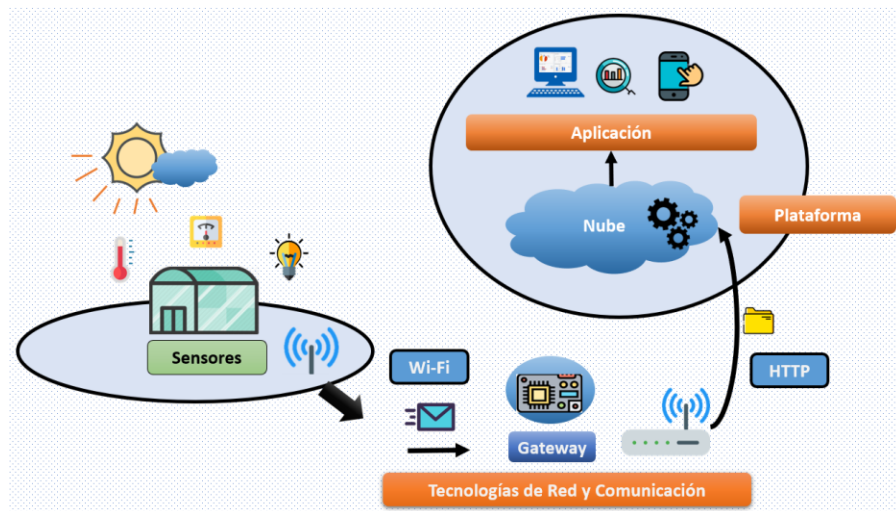


Figura 21. Representación gráfica de un sistema de recolección y monitoreo de datos del medio ambiente.

La figura 21 es una representación visual de la funcionalidad del proyecto en su fase de implementación. Iniciando con la obtención de los datos del medio ambiente como lo son temperatura, humedad y la materia particulada 2.5 o PM2.5 mediante dispositivos de medición, seguido de configuración física y lógica de los protocolos y estándares de comunicación de los objetos. Después estos datos son enviados a un servidor alojado en un entorno virtualizado para su procesamiento. Por último, se configurará la interfaz visual dependiendo del dominio de aplicación al que ira enfocado y los datos y gráficas que serán mostrados.

En los siguientes subtemas se describirá más a fondo como cada capa del marco de referencia propuesto ayudó al desarrollo del proyecto.

## 5.6.- Capa de objetos

Para abordar la capa de objetos se analizaron distintos tipos de estaciones para medición meteorológica de las cuales el sensor de calidad de aire PurpleAir PA-II fue elegido. Este dispositivo fue elegido por el Centro de Ciencias Atmosféricas y Tecnologías Verdes (CECATEV) debido a que este dispositivo es de bajo costo, fácil instalación y cumple con las funciones para la medición de parámetros que se está buscando satisfacer. En la figura 22 se puede observar el dispositivo PurpleAir PA-II.



Figura 22. Dispositivo PurpleAir PA-II [85].

Este dispositivo permite medir las concentraciones de PM2.5 así como la temperatura y humedad en tiempo real, además de contar con funciones para almacenamiento y representación visual de los datos en un mapa propio, así como también contar con capacidades para la transmisión de los datos a dispositivos externos en tiempo real [85]. En la tabla 19 se muestran las características técnicas y los parámetros que puede analizar.

<b>Dimensiones</b>	85 mm x 85 mm x 125 mm ( 3,5 x 3,5 x 5 pulgadas)
<b>Color</b>	Blanco
<b>Uso previsto</b>	Uso en exteriores e interiores
<b>Wifi</b>	Si
<b>Almacenamiento interno</b>	No
<b>Sensor de presión, temperatura y humedad</b>	Si
<b>Contadores de partículas láser</b>	Si

Tabla 20. Especificaciones técnicas del dispositivo PurpleAir PA-II [85].

Una vez seleccionados los objetos que serán utilizados en este proyecto se continua con la especificación y selección de las tecnologías de red a utilizar como se especifica en el marco de referencia propuesto.

### 5.7.- Capa de tecnologías de red

Para abordar la capa de Tecnologías de red del marco de referencia, se utilizó la tecnología de red inalámbrica Wi-Fi debido a que estaba integrada en el dispositivo PurpleAir PA-II como se especificó en la tabla 19.



Figura 23. Instalación de dispositivo PurpleAir.

En la figura 23 se muestra las configuraciones físicas realizadas para la implementación de los dispositivos PurpleAir.

Una vez elegidas las tecnologías de red a utilizar y verificar su funcionamiento al conectar el dispositivo a Internet, se continua con la elección de los protocolos de aplicación que se utilizarán descritos en la capa de comunicación del marco de referencia propuesto.

### 5.8.- Capa de comunicación

Para la capa de comunicación se analizaron los protocolos HTTP, MQTT y CoAP. Esto para elegir el que facilitara la comunicación entre la plataforma elegida y los dispositivos. El protocolo que se utilizó para este proyecto fue HTTP debido a que el dispositivo PurpleAir PA-II permite utilizar este protocolo además de incluir el método GET o POST dentro de su configuración para poder enviar y recibir información al servidor.

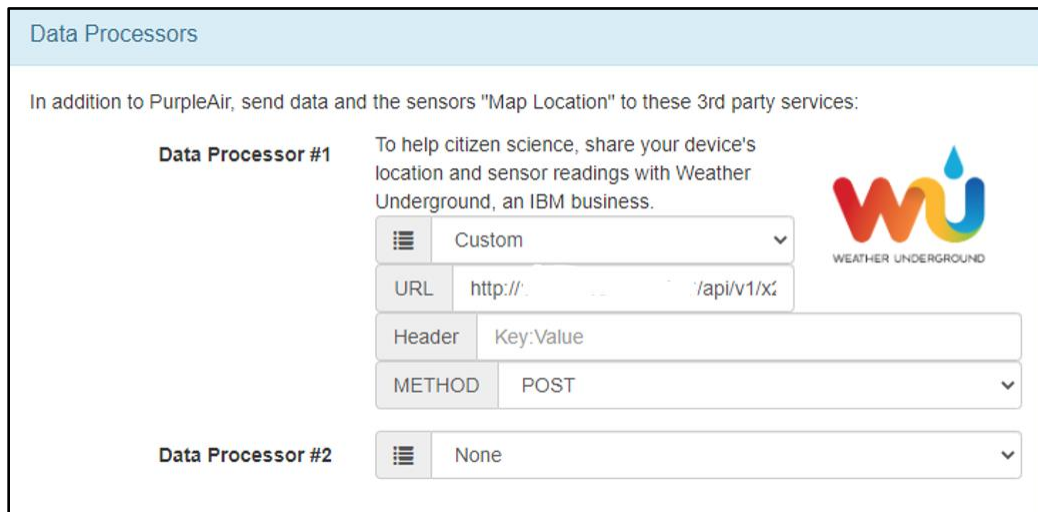


Figura 24. Configuración de método para envío de datos de PurpleAir PA-II a la plataforma.

Se debe de tener en consideración hacia donde se pretende enviar los datos y cuales protocolos de aplicación puede admitir, esto para que el desarrollador tenga en cuenta que protocolos serán los más adecuados para realizar él envío de los datos.

Una vez elegido el protocolo de comunicación y verificar su compatibilidad con los objetos mediante pruebas de comunicación entre el dispositivo y el servidor de PurpleAir, se continua con la elección de la plataforma que se utilizará para el almacenamiento y procesamiento de los datos.

## 5.9.- Capa de plataforma

Para la capa plataforma se analizaron distintas plataformas IoT que permitieran procesar y presentar los datos obtenidos de los sensores. Para elegir la mejor opción principalmente se buscaba que fuera una plataforma gratuita, de código abierto y que además pudiera ser instalada localmente utilizando tecnologías de virtualización.

Después de analizar y comparar las similitudes y diferencias que existen entre algunas de las plataformas IoT de código abierto, se llegó a la siguiente conclusión. Cualquiera de ella ayudaría para la implementación de una arquitectura IoT, pero para el propósito en específico de este proyecto se consideró que la plataforma Thingsboard sería la que mejor se podía adaptar. Esto debido a que ofrece:

- Documentación para instalación local y en la nube (soporta AWS EMC2) [82].
- Cuenta con una versión comunitaria para instalar localmente o en una nube [82].

- Es una plataforma de IoT de código abierto.
- Puede manejar millones de dispositivos al mismo tiempo [82].
- Cuenta con la opción de probar una Demo en vivo sin necesidad de realizar una instalación [82].
- Los casos de uso más frecuentes para lo que se utilizan Thingsboard son medición inteligente de energía y la agricultura inteligente [82].

En la figura 25 se presenta la plataforma ThingsBoard implementada en un entorno virtualizado. Esto permite al administrador tener el control total de los datos que son recibidos para manipularlos según sea su utilidad.



*Figura 25. Plataforma ThingsBoard.*

Para este proyecto se utilizó la edición comunitaria debido a que esta versión es de uso gratuito y cuenta con la mayoría de característica generales que debe de tener una plataforma IoT.

Una vez elegida la plataforma que se utilizará para almacenar y procesar los datos y después de haber comprobado que existiera una comunicación estable entre la plataforma y los objetos, se continua con la configuración de la interfaz para la presentación de los datos teniendo en cuenta el dominio de aplicación.

### **5.10.- Capa de aplicación**

Para finalizar, el campo de aplicación que se abordó fue el ambiental al monitorear estaciones de medición climática y de la calidad del aire en tiempo real. La plataforma Thingsboard cuenta con herramientas que permiten la representación visual de los datos de manera privada, así como opciones de configuración para visualizar los datos públicamente en la red sin necesidad de credenciales de acceso.

## Ventana principal

En esta ventana se muestran los datos recolectados de cada dispositivo en tiempo real. Esta ventana cuenta con 6 paneles individuales, dos son paneles de selección en los cuales puedes elegir el dispositivo y los otros 4 son paneles informativos que actualizan la información en base a la selección.

### Panel de selección

- Mapa de Dispositivos
- Dispositivos Conectados

### Paneles informativos

- Temperatura
- Sensación térmica
- Humedad ambiental
- Materia particulada

En la figura 26 se puede observar la ventana principal de visualización en el cual se muestran las estaciones PurpleAir PA-II activas actualmente y los datos que está recopilando cada estación.

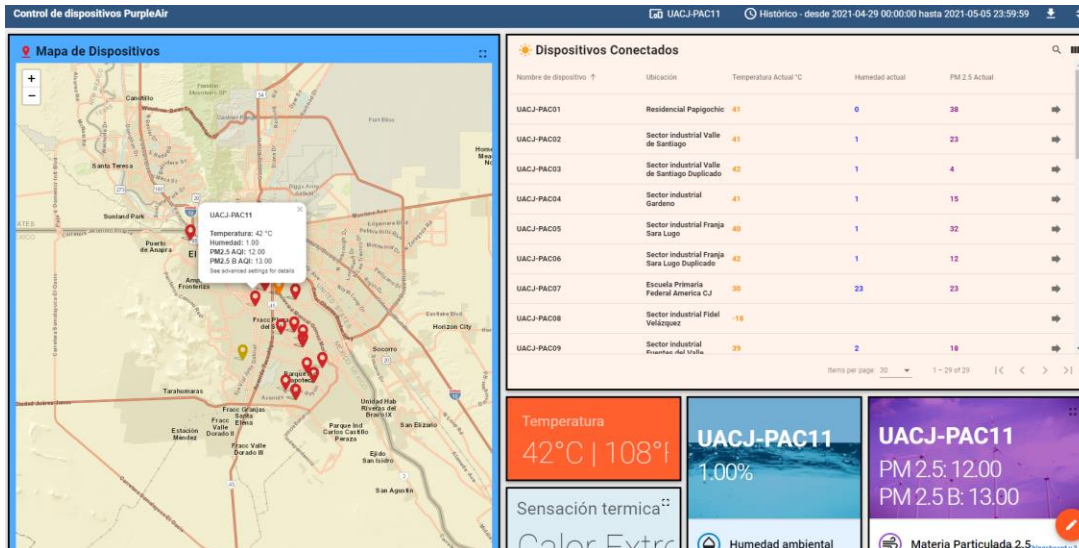


Figura 26. Ventana principal.

La segunda ventana muestra los datos a mayor detalle de cada dispositivo. Aquí se muestran los datos históricos de un dispositivo, así como configuraciones para rangos específicos de fechas. Esta ventana cuenta con 6 paneles informativos en base a la selección de un dispositivo específico en la ventana principal.

## Paneles informativos

- Datos Generales
- Ubicación de Dispositivo
- Temperatura C
- Temperatura F
- Humedad
- Partículas PM 2.5

En la figura 27 se puede observar una ventana informativa en la cual se muestran a mayor detalle los datos recopilados de cada estación individualmente. En cualquier ventana se pueden obtener información en intervalos de tiempo para su posterior análisis.

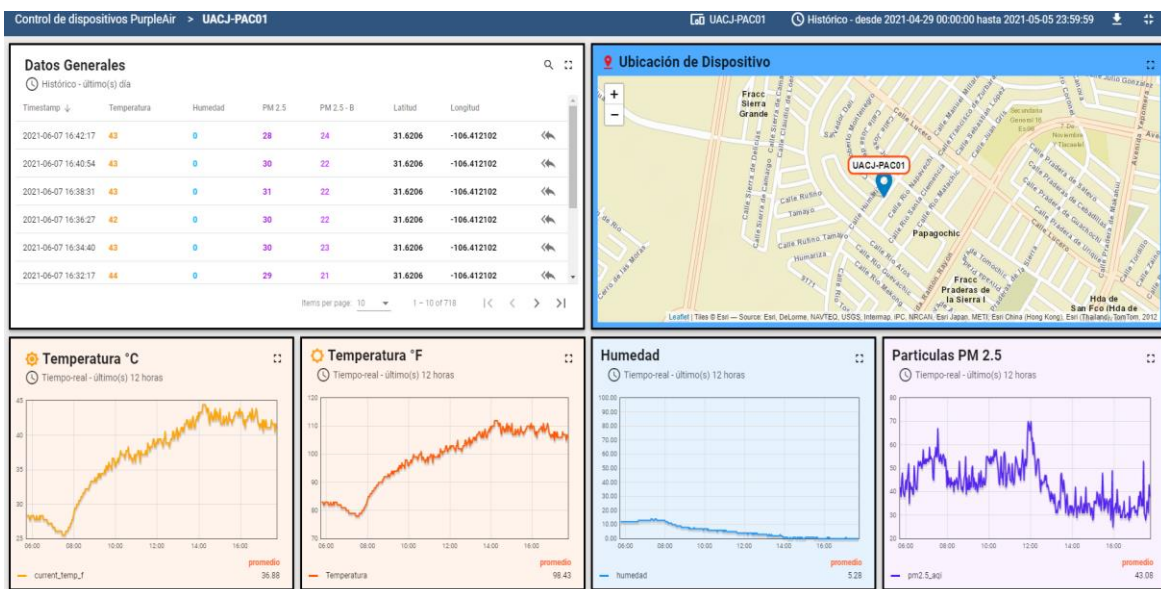


Figura 27. Ventana informativa.

Una vez implementado el sistema se realiza monitoreo y revisiones del funcionamiento en cada etapa de desarrollo para verificar la integridad y confiabilidad de los datos, comparándolos con los datos de otras plataformas de pronóstico climático como lo son <https://weather.com/> y <https://www.meteored.mx/> [86] [87].

## **5.11.- Resultados**

En base al marco de referencia propuesto se logró desarrollar este caso de aplicación. Se siguió la arquitectura conceptual propuesta, de manera lineal y secuencial, iniciando primeramente por la capa de los objetos y se concluyó con la capa de aplicación.

Para este proyecto los objetos que se utilizaron fueron determinados por los administradores del proyecto, debido a que ya se habían implementado este tipo de dispositivos en otros proyectos y se tenía confianza en su rendimiento. En la capa de tecnologías de red se analizaron las tecnologías propuestas y se seleccionó la que mejor pudiera adaptarse a los objetos, al igual que en la capa de comunicación. Para la capa de plataforma se eligió la que mejor se pudiera comunicar con los objetos y cumpliera las funciones que el proyecto necesitaba en esta etapa de desarrollo. Por último, para la capa de aplicación se eligieron los paneles que mostrarán a detalle la información obtenida desde la capa de objetos.

Desarrollar este proyecto tomando como referencia el marco propuesto, dio evidencia de facilitar la implementación del sistema, esto al hacer más sencilla la comprensión los elementos y componentes que eran requeridos, debido a que el usuario tiene la opción de ir revisando y eligiendo los componentes que integrarán su proyecto, evitando así destinar más de los recursos necesarios para realizar tareas de investigación complementarias. Además, permitió contar con una estructura completa que facilitó comprender de manera más clara la problemática que se abordó. Esto al describir de forma simple los elementos que pueden componer un sistema IoT para el sector de impacto económico que se abordó, en este caso el sector ambiental.

## **CAPÍTULO 6:**

### **CONCLUSIONES**

#### **6.1.- Conclusiones**

Al igual que para cualquier proyecto diseñar el marco de referencia de una problemática facilita al investigador encontrar los pasos necesarios para cumplir con los objetivos propuestos. Tener una representación del problema ayuda al investigador a tener una visión más clara de los límites y alcances que tendrá su proyecto, y de la misma manera observar las posibles direcciones que puede tomar en sus diferentes etapas.

Con la terminación del desarrollo del proyecto se llegó a la conclusión que el objetivo establecido desde en el capítulo 1 se cumplió, el cual fue “Desarrollar un marco de referencia que facilite a organizaciones la elaboración de soluciones tecnológicas que involucren IoT, orientado principalmente a sectores de impacto económico como lo son el ambiental y agrícola”. Como resultado se obtuvo un marco de referencia que puede ser aplicado para desarrollar sistemas IoT en el dominio de aplicación agrícola y ambiental, por ejemplo, el desarrollo de sistemas para monitoreo climático, control y automatización de huertos urbanos o también el desarrollo de sistemas de alertas ambientales .

Para cumplir con el primer objetivo específico, el cual era “realizar un análisis y documentación de los modelos de cómputo que actualmente son utilizados para desarrollar soluciones IoT, así como los principales proveedores de servicios de nube que ofrecen servicios para crear este tipo de soluciones”, se llevó a cabo el análisis y descripción de los modelos de cómputo utilizados para desarrollar sistemas IoT, esto para tener una visión amplia de las diversas formas en que se puede implementar este tipo de sistemas y así tenerlas en cuenta al momento de diseñar el marco de referencia.

El siguiente objetivo tenía como finalidad “identificar problemas o dificultades comunes que tienen los sectores de impacto económico antes mencionados y que puedan ser atendidos con soluciones tecnológicas IoT”. Esto se cumplió con la realización de una investigación acerca de los problemas y dificultades que están presentes en áreas de impacto económico como lo son el sector agrícola y el sector ambiental. Esto para tener un conocimiento profundo acerca de problemáticas que pueden ser abordadas utilizando el marco de referencia a propuesto.

El tercer objetivo establece lo siguiente “comparar e identificar los modelos de arquitectura actuales utilizados para desarrollar sistemas IoT”. Para cumplir con él se realizó una investigación documentada acerca de los modelos de arquitectura que se están utilizando actualmente tanto modelos generales como modelos enfocados a un campo de aplicación específico. En base a estos datos se diseñó el marco de referencia propuesto considerando las ventajas y desventajas que tenía cada uno de los ya analizados, cumpliendo así con el cuarto objetivo específico que es “Desarrollar un marco de referencia en donde se especificarán los conceptos generales y relaciones que existen en las distintas etapas de un proyecto”.

Por último, para comprobar el quinto objetivo específico que es “comprobar el funcionamiento del marco de referencia mediante el desarrollo de un caso de aplicación”, se utilizó el marco de referencia para desarrollar dos casos de aplicación en los cuales se desarrollaron sistemas IoT. El primer caso fue la creación de un prototipo para el control y monitoreo de huertos urbanos y el segundo fue desarrollar un sistema para el monitoreo de estaciones climáticas. Utilizar el marco de referencia desarrollado facilitó en gran medida el desarrollo de cada caso de aplicación al reducir costos y dándole al administrador del proyecto el control total de la aplicación. Esto gracias a que el usuario puede invertir una mayor cantidad de tiempo analizando los distintos tipos de objetos, protocolos, plataformas y maneras de visualizar la información descritas en el marco de referencia, en lugar de comenzar a construir el proyecto sin ninguna orientación previa.

Utilizar IoT en una organización no solo implica beneficios como ahorro de costos, tiempo y personal sino, que también tiene un gran impacto en otras áreas tecnológicas como la robótica, nanotecnología o inteligencia artificial al proveerles de grandes volúmenes de información [3]. Esto no solo ayudará a resolver una problemática actual de la empresa sino también a que otras tecnologías tengan un desarrollo más acelerado.

Contar con un marco de referencia que facilite implementar proyectos IoT ayudará a que tanto organizaciones públicas como privadas puedan mejorar sus procedimientos y actividades utilizando tecnologías recientes lo que será una ventaja importante frente a sus competidores.

En este documento se describió un marco de referencia que puede ser utilizado para resolver problemáticas en los sectores de impacto agrícola o ambiental pero debido a que este tipo de tecnología es reciente y está en constante crecimiento y actualización, este marco de referencia pudiera ser adaptado fácilmente y utilizado para otras áreas de aplicación en un futuro próximo.

## 6.2.- Trabajos a futuro

El marco de referencia actual puede ser implementado en los dominios de aplicación abordados en el documento y también puede ser fácilmente adaptable a otros campos de aplicación agregando componentes necesarios para crear una interacción efectiva. Algunas de las mejoras que pueden ser realizadas se enlistan a continuación:

- Dominios de aplicación: El marco de referencia actual puede ser implementado en los dominios de aplicación abordados en el documento, pero también puede ser fácilmente adaptable a otros campos de aplicación agregando componentes necesarios para crear una interacción efectiva.
- Enfoque para desarrollo de sistemas particulares: El marco de referencia está enfocado a poder ser utilizado en distintos campos de aplicación, pero puede ser tomado como base para desarrollar modelos que estén enfocados a problemáticas específicas como lo es el modelo utilizado para seguimiento de transporte urbano.
- Estandarizar seguridad en la capa de objetos: Actualmente la seguridad establecida en cada capa depende de cada proyecto, pero uno de los puntos más vulnerables a ataques son los objetos por lo que sería conveniente establecer medidas de seguridad que pudieran ayudar a mantener los datos íntegros y confiables desde la obtención.

## Referencias

- [1] H. Delgado, «Historia y Evolución de Internet - Origen de la Web,» 19 octubre 2019. [En línea]. Available: <https://disenowebakus.net/historia-y-evolucion-de-internet-introduccion.php>. [Último acceso: 19 noviembre 2019].
- [2] R. Winocur, «Internet en la vida cotidiana de los jóvenes,» *Revista mexicana de sociología*, vol. 68, nº 3, 2006.
- [3] Forbes Insight, «The internet of things: from theory to reality how companies are leveraging the iot to move their businesses forward,» Jersey City, 2017.
- [4] C. Formisano, D. Pavia, L. Gurgen, T. Yonezawa, J. A. Galache, K. Doguchi y I. Matranga, «The Advantages of IoT and Cloud Applied to Smart Cities,» de *3rd International Conference on Future Internet of Things and Cloud*, Roma, 2015.
- [5] X. Wang, A. Wang y X. Gao, «Measuring the contribution degree of system and technological innovation to the economic growth,» de *International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS)*, Sydney, 2016.
- [6] H. Ning y Z. Wang, «Future Internet of Things Architecture: Like Mankind Neural System or Social Organization Framework?,» *IEEE COMMUNICATIONS LETTERS*, vol. 15, nº 4, pp. 461- 463, 2011.
- [7] A. J. Vicario, «IoT: Dispositivos, tecnologías de transporte y aplicaciones,» Universitat Oberta de Catalunya, 11 junio 2017. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10609/64286>. [Último acceso: 26 octubre 2019].
- [8] J. Pan, R. Jain, S. Paul, T. Vu, A. Saifullah y M. Sha, «An Internet of Things Framework for Smart Energy in Buildings: Designs, Prototype, and Experiments,» *IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL*, vol. 2, nº 6, pp. 527 - 537, 2015.
- [9] H. Tran-Dang y D.-S. Kim, «An Information Framework for Internet of Things Services in Physical Internet,» *IEEE Access*, vol. 6, pp. 43967 - 43977, 2018.
- [10] N. S. Sachchidanand Singh, «Internet of Things (IoT): Security challenges, business opportunities & reference architecture for E-commerce,» de *International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*, Noida, India, 2015.
- [11] M. J. H. Paul Brous, «The dual effects of the Internet of Things (IoT): A systematic review of the benefits and risks of IoT adoption by organizations,» *International Journal of Information Management*, 2019.
- [12] F. Badia, *Internet: situación actual y perspectivas*, Barcelona, España: la Caixa, 2002.

- [13] J. Romkey, «The Toast of the IoT,» *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol. 6, nº 1, pp. 116-119, 2017.
- [14] A. M. Padelford, «RFID Technology: Implementation Possibilities in the Patron Experience,» *Arts Management & Technology Laboratory*, 2016.
- [15] S. Mann, «Wearable Tetherless Computer-Mediated Reality: WearCam as a wearable face-recognizer, and other applications for the disabled,» 1996.
- [16] K. Ashton, «That 'Internet of Things' Thing,» *RFID JOURNAL*, 2009.
- [17] J. V. D. V. P. R. H. A. P. Suresh, «A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment,» de *2014 International Conference on Science Engineering and Management Research (ICSEMR)*, Chennai, India, 2014.
- [18] D. Evans, «The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything,» *Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)*, 2011.
- [19] T. Alam, «A Reliable Communication Framework and Its Use in Internet of Things (IoT),» *International Journal of Scientific Research in Computer Science*, vol. 3, nº 5, pp. 450-456, 2018.
- [20] S. E. L. C. Karen Rose, «[internetsociety.org](https://www.internetsociety.org),» octubre 2015. [En línea]. Available: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>. [Último acceso: 10 Marzo 2020].
- [21] ITU-T Recommendations, «<https://www.itu.int/>,» junio 2012. [En línea]. [Último acceso: 05 Marzo 2020].
- [22] D. P. , L. G. , T. Y. , J. A. G. , K. D. Ciro Formisano, «The Advantages of IoT and Cloud Applied to Smart Cities,» de *2015 3rd International Conference on Future Internet of Things and Cloud*, Roma, Italia, 2015.
- [23] K. K. Patel y S. M. Patel, «Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges,» *International Journal of Engineering Science and Computing*, vol. 6, nº 5, pp. 6122-6131, 2016.
- [24] P. Ray, «A survey on Internet of Things architectures,» *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 30, nº 3, pp. 291-319, 2018.
- [25] IEEE SA Board of Governors/Corporate Advisory Group (BoG/CAG), «IEEE Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things (IoT),» *IEEE Std 2413-2019*, pp. 1-269, Marzo 2020.
- [26] Google Cloud, «Descripción general de la Internet de las cosas,» 30 abril 2020. [En línea]. Available: <https://cloud.google.com/solutions/iot-overview>. [Último acceso: 03 Marzo 2020].

- [27] Alibaba Group, «Aliexpress,» 2020. [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/32824392032.html>. [Último acceso: 05 marzo 2020].
- [28] R. J. W. G. B. W. Hany F. Atlam, «Internet of Things: State-of-the-art, Challenges, Applications, and Open Issues,» *International Journal of Intelligent Computing Research (IJICR)*, vol. 9, pp. 928-938, 2018.
- [29] S. R. S. Pallavi Sethi, «Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications,» vol. 2017, pp. 1-26, 2017.
- [30] B. M. O. Iván Ramírez Morales, *Análisis de Datos Agropecuarios, Machala - Ecuador: Universidad Técnica de Machala*, 2018.
- [31] P. K. ,. U. D. ,. M. K. ,. G. C. Geetanshu Mangal, «Flexible Cloud Computing by Integrating Public-Private Clouds using OpenStack,» de *2015 IEEE International Conference on Cloud Computing in Emerging Markets (CCEM)*, Bangalore, India, 2015.
- [32] S. Goyal, «Public vs Private vs Hybrid vs Community - Cloud Computing: A Critical Review,» *I.J. Computer Network and Information Security*, vol. 3, pp. 20-29, 2014.
- [33] Q. Duan, «Cloud service performance evaluation: status, challenges, and opportunities – a survey from the system modeling perspective,» *Digital Communications and Networks*, vol. 3, nº 2, pp. 101-111, 2017.
- [34] A. K. R. D. Chandan Banerjee, «SaaS Oriented Generic Cloud Compiler,» *Procedia Technology*, vol. 10, pp. 253-261, 2013.
- [35] D. G. P. R. S. G. Ana Juan Ferrer, «Multi-cloud Platform-as-a-service Model, Functionalities and Approaches,» *Procedia Computer Science*, vol. 97, pp. 63-72, 2016.
- [36] C. J. Preimesberger, «Technology Advice,» 01 agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.eweek.com/cloud/at-a-high-level-aws-vs-azure-vs-google-cloud>. [Último acceso: 10 marzo 2020].
- [37] A. Cárdenas, «<https://secmotic.com/>,» 28 noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://secmotic.com/plataforma-iot/#gref>. [Último acceso: 05 septiembre 2020].
- [38] D. Aksu y M. A. Aydin, «A Survey of IoT Architectural Reference Models,» de *16th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, Istanbul, Turkey, 2019.
- [39] «IoT Alliance Australia Ltd,» Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.iot.org.au/>. [Último acceso: Octubre 2021].

- [40] M. A. López Peña y I. Muñoz Fernández, «SAT-IoT: An Architectural Model for a High-Performance Fog/Edge/Cloud IoT Platform,» de *IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, Limerick, Ireland, 2019.
- [41] D. C. Yacchirema Vargas, Artist, *Arquitectura de interoperabilidad de dispositivos físicos para el internet de las cosas (iot)*. [Art]. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, 2019.
- [42] S. Srivastava, «<https://www.cio.com/>,» 10 octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.cio.com/article/3231654/iot-architecture-to-run-on-the-cloud-or-not.html>. [Último acceso: 05 marzo 2020].
- [43] S. J. S. N. Deepika Navani, «The Internet of Things (IoT): A Study of Architectural Elements,» de *2017 13th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)*, Jaipur, 2017.
- [44] M. G. ., M. M. ., M. A. ., M. A. Ala Al-Fuqaha, «Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications,» *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, nº 4, pp. 2347 - 2376, 2015.
- [45] P. K. M. Nallapaneni Manoj Kumar, «The Internet of Things: Insights into the building blocks, component interactions, and architecture layers,» *Elsevier B.V.*, vol. 132, pp. 109-117, 2018.
- [46] S. U. K. ., R. Z. ., S. K. Rafiullah Khan, «Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges,» de *2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology*, Islamabad, India, 2012.
- [47] N. M. Kumar y A. Dash, «The Internet of Things: An Opportunity for Transportation and Logistics,» de *2017 IEEE International Conference on Inventive Computing and Informatics*, Coimbatore, India, 2017.
- [48] P. Sethi y S. R. Sarangi, «Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications,» *Journal of Electrical and Computer Engineering*, pp. 1-25, 2017.
- [49] M. Aazam y E.-N. Huh, «Fog Computing and Smart Gateway Based Communication for Cloud of Things,» de *International Conference on Future Internet of Things and Cloud*, Barcelona, Spain, 2014.
- [50] I. Y. A. G. M. I. G. Ejaz Ahmed, «Internet-of-Things-Based Smart Environments: State of the Art, Taxonomy, and Open Research Challenges,» *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, nº 5, pp. 10-16, 2016.
- [51] Z. Heinz, «Software Development as a Modeling Process,» de *Object-Oriented Construction Handbook*, 2005, pp. 117-133.

- [52] L. A. Jurado Pérez, W. A. Velásquez Vargas y N. F. Vinueza Escobar, «Estado del Arte de las Arquitecturas de,» Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.
- [53] F. H. Andrade, Los desafíos de la agricultura, International Plant Nutrition Institute, 2016.
- [54] B. L. S. F. T. D. Á. B. Jonathan Steven Capera Quintana, «Análisis temático de principios de automatización en el desarrollo de cultivos hidropónicos,» *Boletín Semillas Ambientales*, vol. 11, nº 2, pp. 138-148, 2017.
- [55] A. Bula, «Importancia de la agricultura en el desarrollo socio-económico,» Creative Commons, Rosario, Argentina, 2020.
- [56] M. C. F. C. J.-F. V. A. F. & J. P. Alexander Wezel, «Agroecological practices for sustainable agriculture. A review,» *Official journal of the Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)*, vol. 34, nº 1, pp. 1-20, 2014.
- [57] E. García y F. Flego, «Agricultura de Precisión,» *Tecnología agropecuaria*, pp. 99-116.
- [58] F. Leiva, «La agricultura de precisión: una producción mas sostenible y competitiva con vision futurista,» de *Conferencia presentada en el VIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y*, Bogotá, Colombia, 2003.
- [59] P. Cepeda Rode, H. Ponce Espinoza, P. Ponce Cruz y M. G. Arturo, «Invernadero Inteligente basado en un Enfoque Sustentable para la Agricultura Mexicana,» de *VIII Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico*, Cuernavaca Morelos, México, 2010.
- [60] T. Alam, «A Reliable Communication Framework and Its Use in Internet of Things (IoT),» *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, vol. 3, nº 5, pp. 450-456, 2018.
- [61] M. Bilal, «A Review of Internet of Things Architecture, Technologies and Analysis Smartphone-based Attacks Against 3D printers,» pp. 1-21, 2017.
- [62] R. P. Areny, Adquisición y distribución de señales, Barcelona: S.A. Marcombo, 2005.
- [63] P. Sethi y S. R. Sarangi, «Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications,» *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2017, pp. 1-25, 2017.
- [64] S. G. Hegde y S. Naveen, «Internet of Things(IoT): A study on Architectural elements, communication, technologies and Applications,» *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 5, pp. 189-193, 2016.
- [65] D. Navani, S. Jain y M. S. Nehra, «The Internet of Things (IoT): A Study of Architectural Elements,» de *13th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)*, Jaipur, India, 2017.

- [66] W. Y. N. Z. X. Y. H. Z. a. W. Z. Jie Lin, «A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications,» *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, n° 5, pp. 1125-1142, 2017.
- [67] R. Garrido, «Xataka México,» 22 Febrero 2012. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/mx/celulares-y-smartphones/que-es-la-tecnologia-lte>. [Último acceso: 06 marzo 2020].
- [68] K. P. G. B.G.Gopal, «A Comparative Study on 4G and 5G Technology for Wireless Applications,» *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, vol. 10, n° 6, pp. 67-72, 2015.
- [69] M. S. Mekala y P. Viswanathan, «A Survey : Smart Agriculture IoT with Cloud Computing,» de *International conference on Microelectronic Devices, Circuits and Systems (ICMDCS)*, Vellore, India, 2017.
- [70] N. Naik, «Choice of Effective Messaging Protocols for IoT,» de *IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*, Vienna, Austria, 2017.
- [71] R. Porkodi y V. Bhuvanawari, «The Internet of Things (IoT) Applications and Communication Enabling Technology Standards: An Overview,» de *International Conference on Intelligent Computing Applications*, Coimbatore, India, 2014.
- [72] J. I. J.-P. C. C.-M. G. G.-C. Laura White-Olascoaga, «Flora medicinal en San Nicolás, municipio de Malinalco, Estado de México,» *Polibotánica [online]*, n° 35, pp. 173-206, 2013.
- [73] chipKIT® Development Platform, «<https://chipkit.net/>,» [En línea]. Available: <https://chipkit.net/wpcproduct/chipkit-uno32/>. [Último acceso: 11 Septiembre 2021].
- [74] «Stereon,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.stereon.com.mx/sensor-de-temperatura-y-humedad.html>. [Último acceso: 11 Septiembre 2021].
- [75] A. H., «borrowbits,» 18 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://borrowbits.com/2020/04/mqtt-vs-http-que-protocolo-es-mejor-para-iot/>. [Último acceso: 25 Septiembre 2021].
- [76] «Descubrearduino,» [En línea]. Available: <https://descubrearduino.com/mqtt-que-es-como-se-puede-usar-y-como-funciona/>. [Último acceso: 25 Septiembre 2021].
- [77] «programmerclick,» [En línea]. Available: <https://programmerclick.com/article/5967816389/>. [Último acceso: 10 Octubre 2021].
- [78] «sitewhere,» [En línea]. Available: <https://sitewhere.io/docs/2.1.0/es/platform/#enfoque-arquitectonico>. [Último acceso: 10 Octubre 2021].

- [79] KaaloT Technologies, «kaaiot,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.kaaiot.com/?utm\\_expid=.bop8ZdiMQo6SfO5a-SE4iA.0&utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.kaaiot.com/?utm_expid=.bop8ZdiMQo6SfO5a-SE4iA.0&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F). [Último acceso: 25 Octubre 2021].
- [80] Mainflux Labs - Internet of Things Solutions, «Mainflux,» 2020. [En línea]. Available: <https://mainflux.com/>. [Último acceso: 25 Octubre 2021].
- [81] The MathWorks, Inc., 2022. [En línea]. Available: <https://thingspeak.com/>. [Último acceso: 25 Octubre 2021].
- [82] ThingsBoard, Inc., «ThingsBoard Open-source IoT Platform,» 2020. [En línea]. Available: <https://thingsboard.io/>. [Último acceso: 10 septiembre 2020].
- [83] R. B. Gerard Hoek, K. d. Hoogh, D. Vienneau, J. Gulliver, P. Fischer y D. Briggs, «A review of land-use regression models to assess spatial variation of outdoor air pollution,» *Atmospheric Environment*, vol. 42, nº 33, pp. 7561-7578, 2008.
- [84] W.-W. Li y F. A. V. Gálvez, «Low-Cost Air Sensor Study in the Paso del Norte,» El Paso Texas, 2020.
- [85] P. Inc., «PurpleAir,» 2022. [En línea]. Available: <https://www2.purpleair.com/collections/air-quality-sensors/products/purpleair-pa-ii>. [Último acceso: 25 Octubre 2021].
- [86] Meteored, «Meteored,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.meteored.mx/clima\\_Ciudad+Juarez-America+Norte-Mexico-Chihuahua-MMCS-1-22387.html](https://www.meteored.mx/clima_Ciudad+Juarez-America+Norte-Mexico-Chihuahua-MMCS-1-22387.html). [Último acceso: 20 Enero 2022].
- [87] TWC Product and Technology LLC, «The weather channel,» 2022. [En línea]. Available: <https://weather.com/es-MX/tiempo/horario/l/Ciudad+Ju%C3%A1rez+Chihuahua?canonicalCityId=8566d11525efc31429fa67d9bbd0e202b3b311eb44bde8fc70728fb782f6687>. [Último acceso: 20 Enero 2022].
- [88] Canonical Ltd., «Canonical Ltd,» 2020. [En línea]. Available: <https://ubuntu.com/server>. [Último acceso: 20 septiembre 2020].
- [89] G. D. H. J. H. D. Gladys N. Kaplan, «Ingeniería de requisitos,» Universidad Nacional de La Matanza, 2009.
- [90] ITU, «Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges,» 2018. [En línea]. Available: [https://www.itu-ilibrary.org/science-and-technology/setting-the-scene-for-5g\\_pub/811d7a5f-en](https://www.itu-ilibrary.org/science-and-technology/setting-the-scene-for-5g_pub/811d7a5f-en). [Último acceso: 05 marzo 2020].
- [91] PuroCódigo, «PuroCódigo,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.purocodigo.net/articulo/aws-vs-azure-vs-google-cual-es-el-mejor-servicio-en-la-nube>. [Último acceso: 05 marzo 2020].

- [92] M. G. ,. M. M. ,. M. A. ,. M. A. Ala Al-Fuqaha, «Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications,» *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, nº 4, pp. 2347 - 2376, 2015.
- [93] «Mouser Electronics, Inc.,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/new/texas-instruments/ti-tmp117-temperature-sensor/>. [Último acceso: 11 Septiembre 2021].
- [94] « ThingsBoard,» [En línea]. Available: <https://thingsboard.io/>. [Último acceso: 25 Octubre 2021].

# ANEXOS

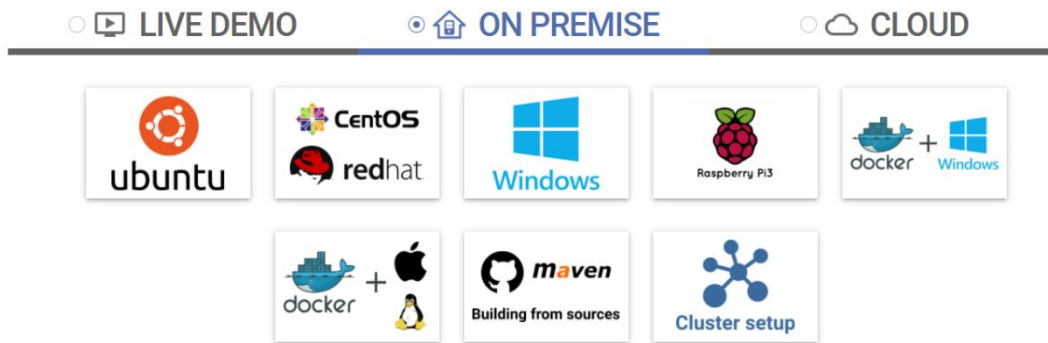
## Anexo 1: Instalación de plataforma Thingsboard

Para la instalación de esta plataforma se debe de identificar primero en que entorno se instalará, si en un servidor local o si en un servidor en la nube. Seguido se debe de determinar los requerimientos necesarios para la instalación basándose en los propuestos por la documentación de la plataforma.

### Requerimientos del sistema

Los requisitos de hardware necesarios para la implementación de “Thingsboard Community Edition” dependen del sistema operativo donde se instalará, la base de datos que almacenará los datos y la cantidad de dispositivos conectados al sistema.

Existen diversas maneras de instalación de la plataforma, cada una con diferentes requerimientos. La siguiente imagen muestra algunos de los sistemas operativos compatibles con Thingsboard, así como una tabla con los requerimientos mínimos para su instalación.



Sistemas operativos elegibles para Thingsboard [82].

Sistema Operativo	Base de datos	Memoria	Licencia
	PostgreSQL	1 Gb de RAM	Gratuita

<b>Ubuntu Server 18.04 LTS</b>	Cassandra	8 Gb de RAM	
<b>RHEL / CentOS 7/8</b>	PostgreSQL	1 Gb de RAM	Gratuita
	Cassandra	8 Gb de RAM	
<b>Windows 10 / 8.1 / 8/7 de 32 bits / 64 bits</b>	PostgreSQL	2 Gb de RAM	Pago por uso con base de datos gratuita
	Cassandra	8 Gb de RAM	

**Requerimientos mínimos para instalación de Thingsboard [82].**

En base a los datos analizados el sistema operativo que se eligió para la implementación de la plataforma Thingsboard es Ubuntu Server 18.04 LTS. Se eligió Ubuntu Server debido a que es un sistema operativo que no requiere del pago de una licencia y posee gran documentación para su manejo.

Ubuntu Server es una variante de Ubuntu, pero diseñado para implementación especialmente en servidores. Es un sistema operativo que no cuenta con un entorno gráfico para administrarlo, lo que significa que para realizar acciones se tendrán que ejecutar mediante la consola [88].

Los requerimientos base que se deben de considerar para la instalación de Ubuntu Server se muestra a continuación.

<b>Requerimientos para instalación de Ubuntu Server</b>	
SO	<b>Ubuntu Server 18.04 Lts</b>
Procesador	<b>Procesador 1.0 Ghz</b>
Memoria	<b>2 GB</b>
Disco Duro	<b>20 GB</b>

**Requerimientos para instalación de Ubuntu Server 18.04 Lts [82].**

### **Base de datos ThingsBoard**

Thingsboard cuenta con dos enfoques que se pueden utilizar para el almacenamiento de los datos en la versión comunitaria.



**Bases de datos disponibles para la versión comunitaria de Thingsboard**

Es recomendado utilizar PostgreSQL para entornos de desarrollo y producción con una carga menor a 5K msg/seg. Por otra parte, el equipo de ThingsBoard recomienda utilizar una base de datos híbrida si se tiene pensado tener más de 1 millón de dispositivos en producción o una carga de datos mayor a 5000 msg / seg [82].

Para este proyecto se optó por utilizar PostgreSQL debido a que se pretende determinar que la carga de trabajo será menor a 5k msg/seg.

## Instalación de la plataforma Thingsboard en Ubuntu Server 18.04 LTS

Para llevar a cabo la instalación primero se debe de instalar el sistema operativo elegido, en este caso Ubuntu Server 18.04 LTS.

[LIVE DEMO](#) [ON PREMISE](#) [CLOUD](#)



### Selección de sistema operativo [82].

```
Welcome to Ubuntu 18.04.5 LTS (GNU/Linux 4.15.0-122-generic x86_64)

* Documentation:  https://help.ubuntu.com
* Management:    https://landscape.canonical.com
* Support:       https://ubuntu.com/advantage

System information as of:
System load:  0.0          Processes:    133
Usage of /:   1.8% of 491.15GB  Users logged in:  0
Memory usage: 13%          IP address for ens160:
Swap usage:  0%

* Introducing self-healing high availability clustering for MicroK8s!
  Super simple, hardened and opinionated Kubernetes for production.
  https://microk8s.io/high-availability

* Canonical Livepatch is available for installation.
  - Reduce system reboots and improve kernel security. Activate at:
  https://ubuntu.com/livepatch

29 packages can be updated.
0 updates are security updates.
```

### Inicio de sesión en Ubuntu Server 18.04 Lts.

Una vez completada la instalación actualizaremos los repositorios del sistema operativo con los siguientes comandos.

- *Sudo apt update*
- *Sudo apt upgrade*

Seguido de esto continuamos con la ejecución de los pasos de instalación sugeridos en la guía de instalación de Thingsboard para el sistema operativo Ubuntu Server 18.04 Lts [82].

## Instalación de Java 8(Open JDK)

Una vez que se tengan los repositorios actualizados se prosigue con la instalación de Java 8.

- `sudo apt install openjdk-8-jdk`

Al finalizar la instalación se puede revisar los datos de la versión de java que se instaló con el siguiente comando.

- `java -version`

## Instalación del servicio ThingsBoard

Ejecutamos el siguiente comando para descargar el paquete de instalación de ThingsBoard.

- `wget https://github.com/thingsboard/thingsboard/releases/download/v3.1.1/thingsboard-3.1.1.deb`

Una vez completada la descarga, se continua con la instalación del servicio.

- `sudo dpkg -i thingsboard-3.1.1.deb`

```
Selecting previously unselected package thingsboard.
(Reading database ... 83117 files and directories currently installed.)
Preparing to unpack thingsboard-3.1.1.deb ...
Adding group `thingsboard' (GID 113) ...
Done.
Unpacking thingsboard (3.1.1-1) ...
Setting up thingsboard (3.1.1-1) ...
```

**Instalación del servicio Thingsboard.**

## Configuración la base de datos de ThingsBoard

Se realizan la verificación de que el equipo actual cumple con los requerimientos proporcionados en la página de ThingsBoard [82] para la instalación de la base de datos. Una vez que se verifican estos datos se prosigue con la instalación e inicialización del servicio.

- `sudo apt install -y wget`
- `wget --quiet -O - https://www.postgresql.org/media/keys/ACCC4CF8.asc | sudo apt-key add -`
- `RELEASE=$(lsb_release -cs)`
- `echo "deb http://apt.postgresql.org/pub/repos/apt/ ${RELEASE}"-pgdg main | sudo tee /etc/apt/sources.list.d/pgdg.list`
- `sudo apt update`

Una vez descargados los repositorios se continua con el proceso de instalación e inicialización del servicio de PostgreSQL

- *sudo apt -y install postgresql-12*
- *sudo service postgresql start*

Después de iniciar el servicio de PostgreSQL creamos un usuario predeterminado, en este caso llamado postgres, y después le asignamos una contraseña. Se debe de tener en cuenta que el código se debe de ejecutar como se muestra en el siguiente orden para evitar confusiones.

- *sudo su - postgres*
- *psql*
- *\password*
- *\q*

```
root@:~# sudo su - postgres
postgres@:~$ psql
psql (12.4 (Ubuntu 12.4-1.pgdg18.04+1))
Type "help" for help.

postgres=# \password
Enter new password:
Enter it again:
postgres=# \q
```

#### **Creación de usuario y contraseña en PostgreSQL.**

Para volver a la consola de usuario principal se debe presionar “Ctrl + D”. En la consola del usuario principal se ejecutan los siguientes comandos para poder conectarse y crear la base de datos para ThingsBoard.

- *psql -U postgres -d postgres -h 127.0.0.1 -W*
- *CREATE DATABASE thingsboard;*
- *\q*

#### **Configuración de ThingsBoard para conexión con base de datos**

Para poder realizar la conexión exitosamente de ThingsBoard con la base de datos es necesario editar un archivo de configuración de ThingsBoard.

- *sudo nano /etc/thingsboard/conf/thingsboard.conf*

Una vez dentro de la consola de archivo de configuración modificamos la línea que se muestra a continuación y agregamos la contraseña que le asignamos a PostgreSQL en la instalación. Si se borra o modifica alguna otra línea de código puede provocar que no se realice la conexión correctamente.

- *SPRING\_DATASOURCE\_PASSWORD=PUT\_YOUR\_POSTGRESQL\_PASSWORD\_HERE*

```
# DB Configuration
export DATABASE_ENTITIES_TYPE=sql
export DATABASE_TS_TYPE=sql
export SPRING_JPA_DATABASE_PLATFORM=org.hibernate.dialect.PostgreSQLDialect
export SPRING_DRIVER_CLASS_NAME=org.postgresql.Driver
export SPRING_DATASOURCE_URL=jdbc:postgresql://localhost:5432/thingsboard
export SPRING_DATASOURCE_USERNAME=postgres
export SPRING_DATASOURCE_PASSWORD=PUT_YOUR_POSTGRESQL_PASSWORD_HERE
export SPRING_DATASOURCE_MAXIMUM_POOL_SIZE=5
# Specify partitioning size for timestamp key-value storage. Allowed values: DAYS, MONTHS, YEARS, INDEFINITE.
export SQL_POSTGRES_TS_KV_PARTITIONING=MONTHS
```

### Configuración de PostgreSQL.

### Instalación de servicios de cola de mensajes

Se utilizará la implementación de colas de mensajes en memoria debido a que ya se encuentra incorporada y es útil utilizarla en entornos de desarrollo.

### Actualización de memoria para maquinas con bajos recursos

Esta configuración puede aplicarse si el equipo o instancia en el que se instalará Thingsboard es un equipo con los requisitos mínimos para la instalación.

- *sudo nano /etc/thingsboard/conf/thingsboard.conf*

Al momento de acceder al archivo de configuración modificamos la línea de código como se ve a continuación.

- *export JAVA\_OPTS="\$JAVA\_OPTS -Xms256M -Xmx256M"*

### Script de instalación

Una vez instalado el servicio de Thingsboard y después de haber configurado la base de datos correctamente ejecutamos el siguiente script para cargar una instalación predeterminada de Thingsboard.

- *sudo /usr/share/thingsboard/bin/install/install.sh --loadDemo*

```
=====
:: ThingsBoard ::      (v3.1.1)
=====
Starting ThingsBoard Installation...
Installing DataBase schema for entities...
Installing SQL DataBase schema part: schema-entities.sql
Installing SQL DataBase schema indexes part: schema-entities-idx.sql
Installing DataBase schema for timeseries...
Installing SQL DataBase schema part: schema-ts-psql.sql
Successfully executed query: CREATE TABLE IF NOT EXISTS ts_kv_indefinite PARTITION OF ts_kv DEFAULT;
Loading system data...
Loading demo data...
Installation finished successfully!
ThingsBoard installed successfully!
```

### Ejecución de Script de instalación predeterminado.

Una vez instalado el script se ejecuta el siguiente comando para que el servicio de Thingsboard se ejecute.

- *sudo service thingsboard start*

Después de esto es iniciado el servicio de Thingsboard y se puede acceder a él mediante el navegador local con el siguiente comando o tecleando directamente la dirección IP seguido del puerto que tiene designado el equipo anfitrión. Se debe de considerar que para poder acceder al servicio web es necesario encontrarse dentro de la misma red o en caso de haber realizado una instalación sobre alguna nube publica es necesario configurar la IP de la instancia como pública.

- <http://localhost:8080/>
- <http://xxx.xxx.xxx.xxx:8080/>

Una vez escrita la dirección en algún navegador se mostrará el siguiente formulario para el inicio de sesión.



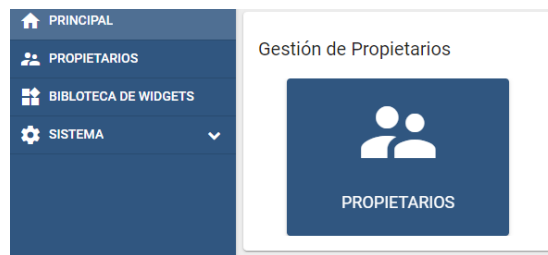
### Inicio de sesión Thingsboard.

Esta plataforma cuenta con 3 diferentes credenciales preconfiguradas con las cuales se puede tener acceso [82].

- *Administrador del sistema:* [sysadmin@thingsboard.org](mailto:sysadmin@thingsboard.org)
- *Administrador de clientes:* [tenant@thingsboard.org](mailto:tenant@thingsboard.org)
- *Usuario del cliente:* [customer@thingsboard.org](mailto:customer@thingsboard.org)

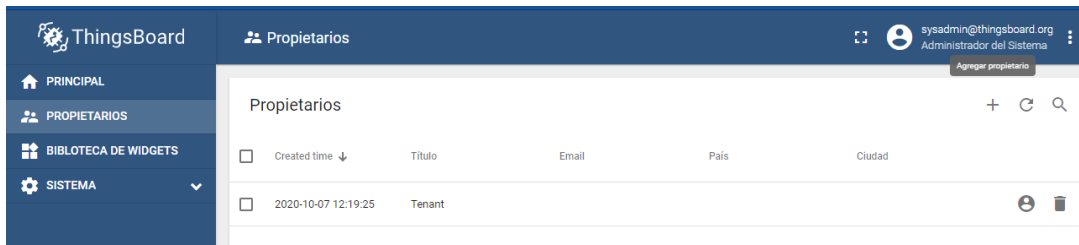
### Crear nuevo administrador de clientes

Se inicia como sesión como *Administrador del sistema*. Dentro de la página de inicio se da clic en el menú en la opción “Propietarios” para que se despliegue el panel de “Gestión de Propietarios”.



**Panel para la gestión de propietarios.**

Una vez dentro se observará los propietarios actuales. De dará clic en la opción “Agregar propietario”.



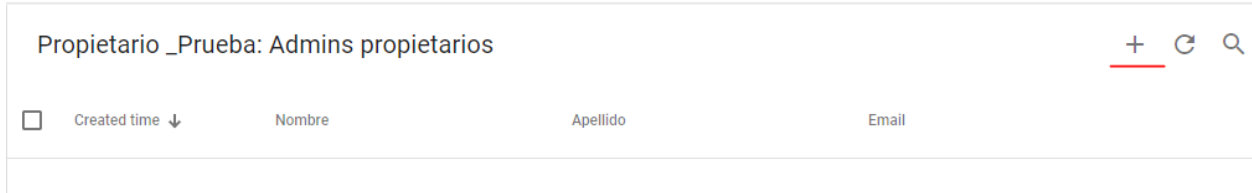
**Abrir panel para agregar un administrador de clientes.**

Se desplegará la siguiente ventana y se ingresarán los datos solicitados.



**Panel para agregar propietario de clientes.**

Damos clic en la opción de “administradores de propietario” para mostrar el panel donde se muestran los usuarios que podrán acceder a este propietario. En este panel se pueden vincular propietarios nuevos dando clic al icono “+”. Cada propietario puede tener varias credenciales que pueden acceder a él.

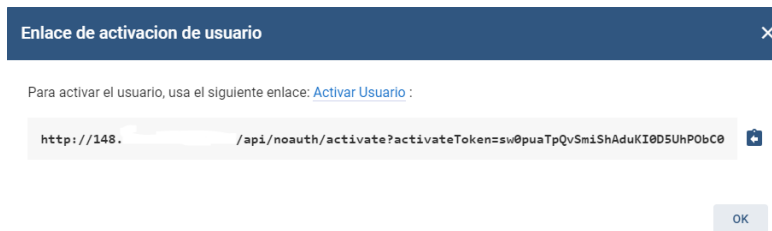


### Agregar un usuario a la lista de propietarios

En esta sección se agrega el correo de acceso para entrar a la plataforma para un *administrador de clientes*.

### Vincular un usuario a la cuenta *Administrador de clientes*

Al momento de dar clic en “Agregar” si se seleccionó el método de activación “Mostrar enlace de activación” se desplegará la siguiente ventana.



### Mensaje de activación de cuenta.

El cual al copiar o dar clic en “Activar Usuario” abrirá una ventana para asignar una contraseña a el usuario creado.

### Crear contraseña para usuario nuevo.

Se debe de tener en cuenta escribir una contraseña igual o mayor a 6 caracteres.

### Seguridad en contraseña.

Una vez creada correctamente la contraseña automáticamente se ingresará al panel de control del nuevo propietario.

## Configuración puertos en plataforma Thingsboard

Antes de intentar agregar un dispositivo es necesario configurar reglas de acceso que permitan la comunicación de fuentes externas a la red con la plataforma. Para esto se deben de abrir los puertos TCP 22,80,443,1883 y UDP 5683 en las reglas de entrada.

En Ubuntu Server se debe de ejecutar diversos comandos en la consola. El siguiente comando es para habilitar el firewall desde el inicio del sistema.

- *Sudo ufw enable*

```
Command may disrupt existing ssh connections. Proceed with operation (y|n)? y
Firewall is active and enabled on system startup
```

### Activar Firewall

Seguido de esto se ejecuta el siguiente comando para permitir el tráfico desde una dirección predeterminada al equipo de la plataforma.

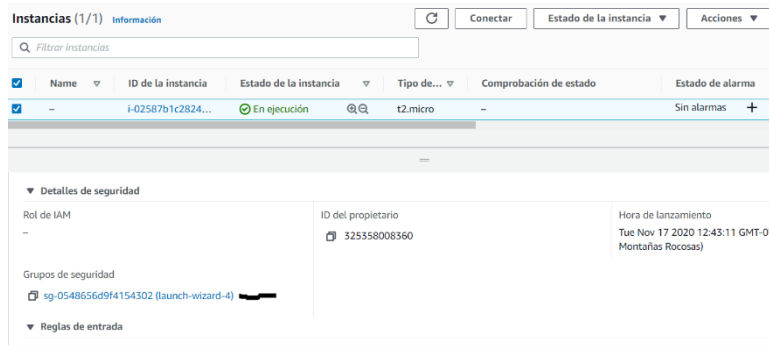
- *sudo ufw allow proto tcp from *YYY.YYY.YYY.YYY* to *XXX.XXX.XXX.XXX* port 1883*

(Y) es para indicar la dirección IP del equipo que estará enviando los datos en caso de que se desee que pueda entrar el tráfico directo de una dirección pública. (X) es para indicar la dirección IP del equipo que tiene la plataforma de Thingsboard instalada.

To	Action	From
[ 1] 22/tcp	ALLOW IN	Anywhere
[ 2] 148.210.80/tcp	ALLOW IN	201.146.201.146.
[ 3] 148.210.3080/tcp	ALLOW IN	201.146.201.146.
[ 4] 148.210.22/tcp	ALLOW IN	201.146.201.146.
[ 5] 148.210.5683/tcp	ALLOW IN	201.146.201.146.
[ 6] 148.210.1883/tcp	ALLOW IN	201.146.201.146.
[ 7] 22/tcp (v6)	ALLOW IN	Anywhere (v6)

### Puertos abiertos y direcciones habilitadas para el envío de tráfico.

En caso de que la instalación sea en una nube publica es necesario abrir los puertos de igual manera. En AWS esto se puede configurar seleccionando la instancia donde se encuentra el sistema operativo y seleccionar la pestaña de seguridad para que se desplieguen las opciones y lista de reglas de entrada.



### Panel de seguridad de una instancia en AWS

En esta parte se debe dar clic en la etiqueta llamada grupos de seguridad para poder acceder al menú de configuración de reglas de entrada.

Tipo	Protocolo	Intervalo de puertos	Origen	Descripción: opcional
HTTP	TCP	80	201.146.148.210.	-
HTTP	TCP	80	148.210.201.146.	-
TCP personalizado	TCP	8080	201.146.148.210.	-
TCP personalizado	TCP	8080	148.210.201.146.	-
SSH	TCP	22	201.146.148.210.	-
SSH	TCP	22	148.210.201.146.	-
UDP personalizado	UDP	5683	201.146.148.210.	-
UDP personalizado	UDP	5683	148.210.201.146.	-
TCP personalizado	TCP	1883	201.146.148.210.	-
TCP personalizado	TCP	1883	148.210.201.146.	-
HTTPS	TCP	443	201.146.148.210.	-
HTTPS	TCP	443	148.210.201.146.	-

### Panel para la edición de reglas de entrada.

## Configurar Panel visual

Después de haber completado la conexión entre la plataforma y algún dispositivo, se prosigue a configurar los paneles que Thingsboard ofrece para la representación de los datos. Para esto damos clic sobre el dispositivo agregado y en el panel de opciones que se despliega seleccionamos la opción “Atributos” donde se describen los atributos que se agregaron.



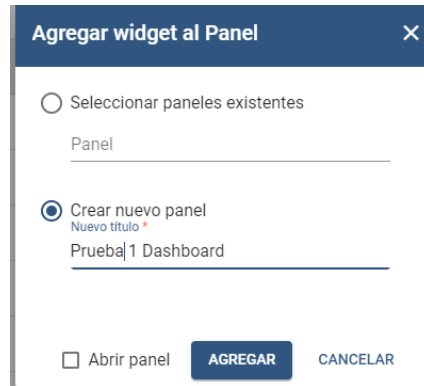
**Atributos de un dispositivo.**

Seleccionamos los atributos que se deseen visualizar y se da clic en “Mostrar en Widget”. En este caso utilizamos la de “Card”. Hay diferentes opciones para representar los datos de las cuales se puede elegir. El Widget debe de ser agregado a un panel en el botón “Agregar al Panel”



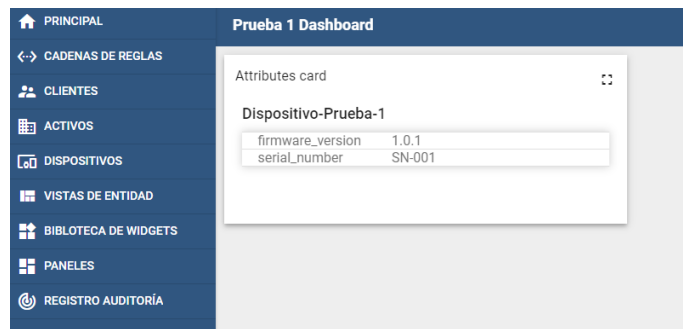
**Agregar Widget a panel.**

Se desplegará una ventana en la cual se puede seleccionar un panel ya existente o crear un nuevo panel. Para esta prueba se creará un nuevo panel. Una vez elegida la opción se confirma dando clic en agregar al panel.



### **Agregar widget a panel.**

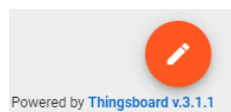
Al dar clic en “Agregar” si se marcó la opción “Abrir panel” se mostrará el panel con el widget configurado. O si no se seleccionó se puede acceder a él mediante la pestaña de “Paneles”.



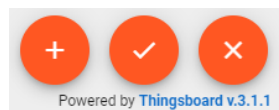
### **Mostrar widget en panel.**

### **Agregar widgets extras a un panel**

Para esta tarea se debe de abrir un panel de control nuevo o utilizar uno ya existente. Seguido de esto se da clic sobre el icono naranja que se muestra a continuación para desbloquear las opciones para agregar widgets.

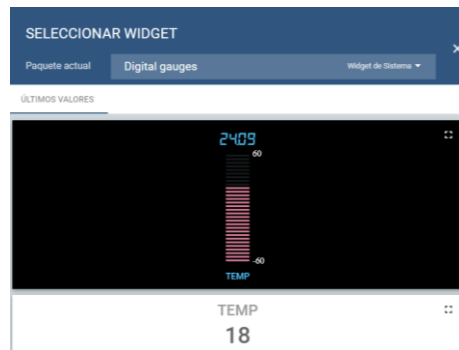


### **Desbloquear panel para agregar widgets.**



### **Agregar, aplicar cambios y eliminar widgets.**

Cuando se va a agregar un nuevo widget se desplegará la siguiente ventana la cual mostrará distintos widgets para representar los datos.



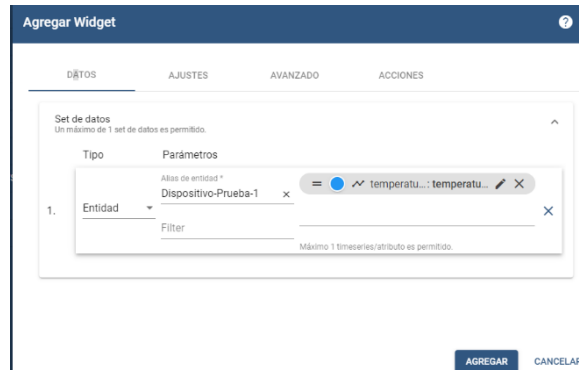
**Seleccionar widget.**

Después de haber agregado el widget se le deben de asignar un conjunto de datos, es decir, vincularlo a los datos obtenidos desde un dispositivo.



**Vincular widget con los datos de un dispositivo.**

Al vincular correctamente los datos con un widget se mostrará una ventana como la de abajo.

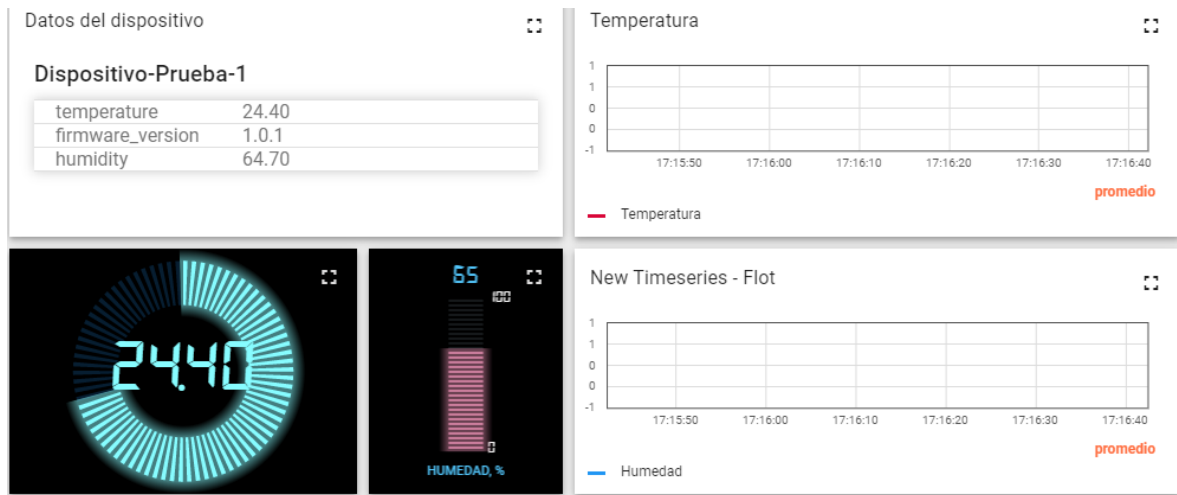


### Configuración de Widget.

Se pueden agregar distintos tipos de paneles que muestran la interacción con los dispositivos.



### Panel representando datos en tiempo real de un dispositivo.



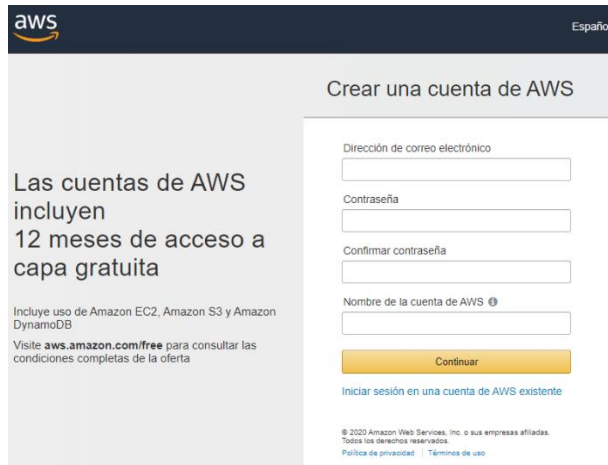
**Panel representando datos en tiempo real de un dispositivo.**

## **Anexo 2. Configuración de instancia en Amazon Web Services (AWS)**

### **Creación de máquina virtual en AWS**

Para la creación de una instancia en AWS es necesario registrarse primero en la página de AWS.

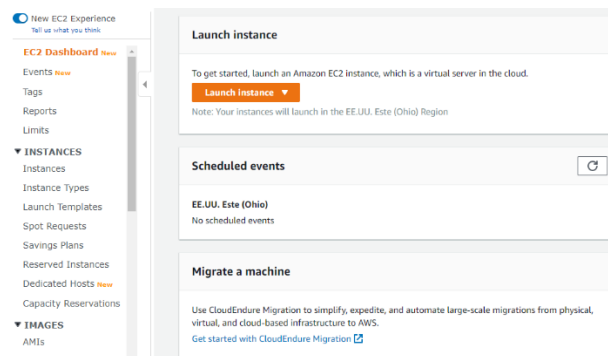
- Nota: Debe de contar con una tarjeta de crédito a la mano para poder registrarse.



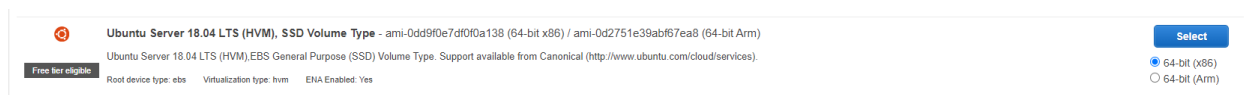
### Inicio de sesión AWS.

Una vez dentro se mostrarán todos los servicios que se pueden utilizar. En esta parte escogemos de la sección 'informática' la opción EC2 para que nos muestre el panel para crear máquinas virtuales.

Una vez dentro del panel llamado "EC2 Dashboard" damos clic en la opción "Launch instance" para comenzar con la configuración de la maquina virtual. Después escogemos una imagen de un sistema operativo entre las disponibles. En esta parte seleccionamos Ubuntu Server 18.04 se debe tener en cuenta que sea Free para que no tenga ningún costo de instalación.



### Panel de control AWS.



### Selección de sistema operativo.

Una vez seleccionado el sistema operativo avanzamos con la configuración. En la siguiente ventana nos permite escoger una maquina ya preconfigurada. En este caso seleccionamos el equipo t2.micro Free.

1. Choose AMI 2. Choose Instance Type 3. Configure Instance 4. Add Storage 5. Add Tags 6. Configure Security Group 7. Review

**Step 2: Choose an Instance Type**  
 Amazon EC2 provides a wide selection of instance types optimized to fit different use cases. Instances are virtual servers that can run applications. They have varying combinations of CPU, memory, storage, and networking capacity, and give you the flexibility to choose the appropriate mix of resources for your applications. Learn more about instance types and how they can meet your computing needs.

Filter by: All instance types Current generation Show/Hide Columns

Currently selected: t2.micro (Variable ECU, 1 vCPU, 2.5 GB, Intel Xeon Family, 1 GB memory, EBS only)

Family	Type	vCPUs	Memory (GiB)	Instance Storage (GiB)	EBS-Optimized Available	Network Performance	IPv6 Support
General purpose	t2.nano	1	0.5	EBS only	-	Low to Moderate	Yes
General purpose	t2.micro	1	1	EBS only	-	Low to Moderate	Yes
General purpose	t2.small	1	2	EBS only	-	Low to Moderate	Yes
General purpose	t2.medium	2	4	EBS only	-	Low to Moderate	Yes
General purpose	t2.large	2	8	EBS only	-	Low to Moderate	Yes
General purpose	t2.xlarge	4	16	EBS only	-	Moderate	Yes
General purpose	t2.2xlarge	8	32	EBS only	-	Moderate	Yes
General purpose	t3a.nano	2	0.5	EBS only	Yes	Up to 5 Gbps	Yes

### Selección de instancia.

En la siguiente ventana se muestran las opciones para configurar la VM de una forma más detallada.

1. Choose AMI 2. Choose Instance Type 3. Configure Instance 4. Add Storage 5. Add Tags 6. Configure Security Group 7. Review

**Step 3: Configure Instance Details**  
 Configure the specific details of your instance. You can launch multiple instances from the same AMI, request Spot Instances to take advantage of the lower pricing, assign an access key pair to the instance, and more.

Number of instances: 1 Launch into Auto Scaling Group

Purchasing option:  On-demand Spot Instance

Network:  VPC (default)  Create new VPC

Subnet:  No preference (default subnet in my Availability Zone)  Create new subnet

Auto-assign Public IP:  Use subnet setting (default)

Placement group:  Add instance to placement group

Capacity Reservation:  Open  Create new Capacity Reservation

Domain join directory:  No directory  Create new directory

IAM role:  None  Create new role

Shutdown behavior:  Stop  Stop-then-reboot or an optional stop behavior

Stop-restarts behavior:  Enable automatic restarts

Enable termination protection:  Enable automatic termination

Monitoring:  Create CloudWatch default monitoring  Additional charges apply

Tenancy:  Shared - Run on shared hardware instance. Additional charges will apply for dedicated tenancy.

Basic Graphics:  Add Graphics Acceleration. Additional charges apply.

T3/T3 Unlimited:  Enable. Additional charges may apply.

### Opciones de configuración de instancia.

En el siguiente paso agregamos la cantidad de almacenamiento que tendremos. AWS indica que un almacenamiento de 30 GB es gratis. Así que por el momento agregaremos 30 GB. Y enseguida damos clic en “Review and Launch” para iniciar con la creación de la máquina virtual.

1. Choose AMI 2. Choose Instance Type 3. Configure Instance 4. Add Storage 5. Add Tags 6. Configure Security Group 7. Review

**Step 4: Add Storage**  
 Your instance will be launched with the following storage device settings. You can attach additional EBS volumes and instance store volumes to your instance, or edit the settings of the root volume. You can also attach additional EBS volumes after launching an instance, but not instance store volumes. Learn more about storage options in Amazon EC2.

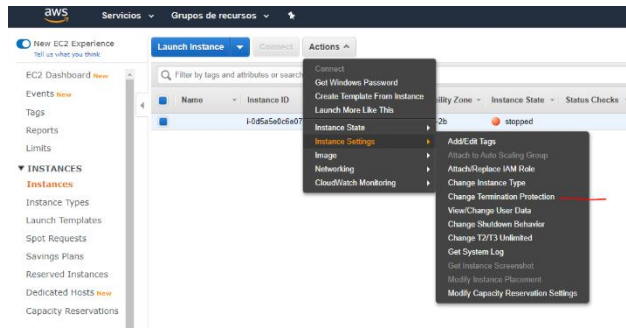
Volume Type	Device	Snapshot	Size (GiB)	Volume Type	IOPS	Throughput (MiB/s)	Delete on Termination	Encryption
Root	/dev/sd1	snap-014d3e77d0d99f9f9	30	General Purpose SSD (gp2)	100 / 3000	N/A	<input checked="" type="checkbox"/>	Not Encrypted

Free tier eligible customers can get up to 30 GB of EBS General Purpose (SSD) or Magnetic storage. Learn more about free usage tier eligibility and usage restrictions.

Cancel Previous **Review and Launch** Next: Add Tags

### Finalización de máquina virtual.

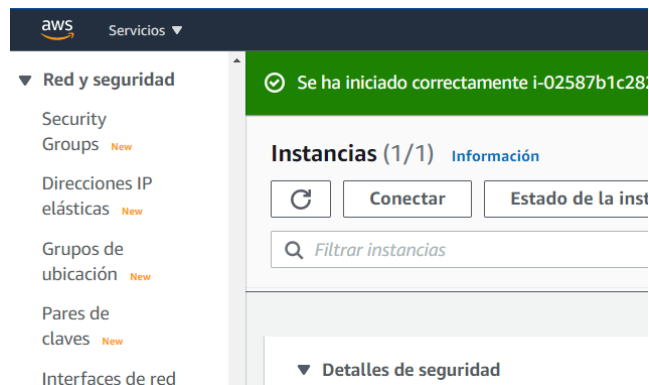
Una vez finalizada la creación de la instancia agregaremos una protección para evitar eliminar el equipo accidentalmente ya que en AWS la opción de “reiniciar” se encuentra enseguida de la de “Terminar”. Con esta configuración no nos permitirá eliminar una instancia a menos que desactivemos esta opción.



**Configuración adicional para prevención de terminación accidental de instancia.**

### Configuración para tener una dirección pública a una instancia de AWS

Para realizar este proceso es necesario crear y asignar una dirección IP elástica. Para esta configuración se selecciona la opción de “Direcciones IP elásticas” situada en el menú izquierdo dentro de la página donde visualizan las instancias.



**Menú Direcciones IP elásticas.**

En la ventana que se despliega se debe de dar clic en el botón “Asignar la dirección IP elástica” para poder asignar una dirección IP pública a cualquier instancia que usuario requiera, para este caso será para la instancia que tendrá instalada la plataforma IoT.

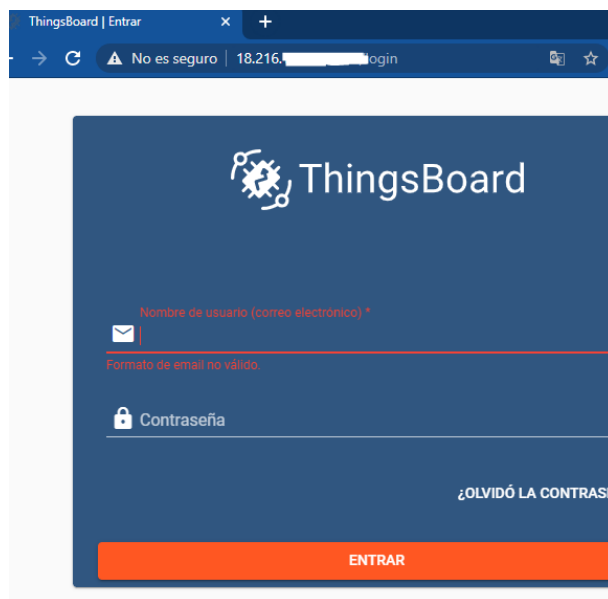


**Panel de control para agregar direcciones IP elásticas.**

<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Dirección IPv4 asignada	Tipo
<input checked="" type="checkbox"/>	-	18.216. [redacted]	IP pública

**Dirección IP elástica agregada y asignada a una instancia.**

Después de haber asignado una dirección IP elástica a una instancia esta contara con una dirección publica y si la plataforma se encuentra correctamente instalada podremos acceder a ella mediante su dirección IP publica y apuntando al puerto habilitado para recibir tráfico en este caso sería el puerto 8080.



**Acceso a Thingsboard a través de internet.**

### Anexo 3. Modelo del Léxico Extendido del Lenguaje

Para el desarrollo del modelo conceptual se utilizó el Léxico Entendido del Lenguaje (LEL) que es un modelo diseñado para ayudar a la representación del lenguaje utilizado en la aplicación en donde se explicó detalladamente la función de cada concepto. Este tipo de modelo se centra en la descripción de términos con el fin de mejorar su comprensión [89].

El desarrollar un modelo LEL facilito en la clasificación de cada concepto mediante la ejecución de cada una de las actividades que el proceso de construcción de modelos LEL propone, donde se identifica, clasifica, describe, verifica y valida cada símbolo (palabra o frase) obtenido de la fuente principal de información.

Una vez identificados los símbolos se pueden clasificar en 4 formas diferentes: sujeto, objeto, verbo y estado las cuales describen un conjunto de características comunes entre un grupo de símbolos.

<b>Símbolo:</b> Gerente de proyectos de TI <b>Clasificación:</b> Sujeto
<b>Noción:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Personal encargado del desarrollo de un proyecto de TI.</li></ul>
<b>Impacto:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ El gerente de proyectos de TI realiza la planificación de un proyecto especificando costos, tiempo de duración alcance y riesgos de este.</li><li>▪ El gerente de proyectos de TI crea los cronogramas en conjunto con los ingenieros para identificar las tareas a realizar y se estima el tiempo de duración de cada una.</li><li>▪ El gerente de proyectos de TI está en constante monitoreo del proyecto con el fin de cumplir con las metas establecidas en la planificación.</li><li>▪ El gerente de proyectos de TI evalúa los procesos de ejecución y verifica que cumplan con lo previamente establecido.</li></ul>

<p><b>Símbolo:</b> Ingeniero en sistemas computacionales</p> <p><b>Clasificación:</b> Sujeto</p>
<p><b>Noción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Personal encargado de la creación, administración e implementación de aplicaciones informáticas.</li> </ul>
<p><b>Impacto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El ingeniero en sistemas computacionales trabaja en un laboratorio de desarrollo de software.</li> <li>▪ El ingeniero en sistemas computacionales es el encargado de crear, revisar y actualizar aplicaciones informáticas.</li> <li>▪ El ingeniero en sistemas computacionales tiene la responsabilidad de garantizar el correcto funcionamiento de las aplicaciones creadas.</li> <li>▪ El ingeniero en sistemas computacionales es el encargado de administrar y configurar los entornos de la nube.</li> <li>▪ El ingeniero en sistemas computacionales emplea cómputo en la nube para analizar los datos obtenidos por los dispositivos de recolección.</li> <li>▪ El ingeniero en sistemas computacionales responde a la autoridad del Gerente de proyectos TI.</li> </ul>

<p><b>Símbolo:</b> Ingeniero en sistemas digitales</p> <p><b>Clasificación:</b> Sujeto</p>
<p><b>Noción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El ingeniero en sistemas digitales se encarga de diseñar, construir y gestionar sistemas digitales.</li> </ul>
<p><b>Impacto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El ingeniero en sistemas digitales se encarga de diseñar y construir dispositivos electrónicos.</li> <li>▪ El ingeniero en sistemas digitales crea interfaces para la interacción inteligente entre dispositivos digitales.</li> <li>▪ El ingeniero en sistemas digitales diseña, desarrolla e implementa sistemas embebidos para dispositivos.</li> <li>▪ El ingeniero en sistemas digitales responde a la autoridad del Gerente de proyectos TI.</li> </ul>

<p><b>Símbolo:</b> Arquitecto de software</p> <p><b>Clasificación:</b> Sujeto</p>
<p><b>Noción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Personal encargado de diseñar la estructura de una aplicación.</li> </ul>
<p><b>Impacto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El arquitecto de software evalúa los requerimientos necesarios del sistema.</li> <li>▪ El arquitecto de software se encarga de identificar los atributos principales del sistema y que no pierdan el enfoque del objetivo principal.</li> <li>▪ El arquitecto de software define y verifica que las métricas asociadas al objetivo sean de calidad.</li> <li>▪ El ingeniero en sistemas computacionales responde a la autoridad del Gerente de proyectos TI.</li> </ul>

<p><b>Símbolo:</b> Dispositivo de recolección</p> <p><b>Clasificación:</b> Objeto</p>
<p><b>Noción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Son dispositivos electrónicos utilizados para detectar los cambios del entorno.</li> <li>▪ Tiene un número de identificación.</li> </ul>
<p><b>Impacto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Los dispositivos de recolección recolectan datos del mundo físico.</li> <li>▪ Los dispositivos de recolección se encargan de procesar y transmitir datos.</li> <li>▪ Los dispositivos de recolección utilizan una <b>fuentes de alimentación de energía.</b></li> <li>▪ Los dispositivos de recolección utilizan <b>protocolos de comunicación.</b></li> <li>▪ Los dispositivos de recolección pueden estar conectados a una red alámbrica o inalámbricamente.</li> </ul>

<p><b>Símbolo:</b> Dispositivo de comunicación</p> <p><b>Clasificación:</b> Objeto</p>
<p><b>Noción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Son dispositivos electrónicos que permiten la comunicación entre los dispositivos de una red.</li> <li>▪ Tiene un número de identificación.</li> </ul>
<p><b>Impacto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Los dispositivos de comunicación se encargan de proveer conexiones seguras entre los dispositivos de la red.</li> <li>▪ Los dispositivos de comunicación traducen <b>los protocolos de comunicación</b> de dispositivos para que se pueda establecer una comunicación.</li> <li>▪ Son configurados por el Ingeniero en sistemas digitales o Ingeniero en sistemas computacionales.</li> </ul>

<b>Símbolo:</b> Dispositivo inteligente
<b>Clasificación:</b> Objeto
<b>Noción:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Son dispositivos electrónicos con capacidades de procesamiento y conexión que pueden interactuar con un usuario y otros dispositivos.</li> <li>▪ Tiene un número de identificación.</li> </ul>
<b>Impacto:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Los dispositivos inteligentes pueden comunicarse con otros dispositivos inteligentes.</li> <li>▪ Los dispositivos inteligentes utilizan una fuente de alimentación de energía.</li> <li>▪ Los dispositivos inteligentes utilizan protocolos de comunicación.</li> <li>▪ Los dispositivos inteligentes comprenden comandos simples introducidos por un usuario.</li> </ul>

<b>Símbolo:</b> Computadora
<b>Clasificación:</b> Objeto
<b>Noción:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Una computadora es un aparato electrónico que puede almacenar y procesar datos utilizando operaciones lógicas y matemáticas mediante aplicaciones informáticas.</li> <li>▪ Tiene un número de identificación.</li> </ul>
<b>Impacto:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La computadora se encarga de procesar, almacenar y administrar información.</li> <li>▪ La computadora es utilizada para configurar los dispositivos de almacenamiento, recolección y comunicación.</li> <li>▪ La computadora es utilizada para diseñar, crear, modificar y probar la aplicación IoT.</li> <li>▪ La computadora es utilizada por ingeniero en sistemas computacionales, ingeniero en sistemas digitales y el arquitecto de software.</li> </ul>

<b>Símbolo:</b> Dispositivo de almacenamiento
<b>Clasificación:</b> Objeto
<b>Noción:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Los dispositivos de almacenamiento se encargan de almacenar los datos que sean generados en por una aplicación IoT.</li> <li>▪ Tiene un número de identificación.</li> </ul>
<b>Impacto:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Los dispositivos de almacenamiento guardan los datos obtenidos por los dispositivos de recolección.</li> <li>▪ Los dispositivos de almacenamiento a través de los dispositivos de comunicación envían información a la nube.</li> <li>▪ Los dispositivos de almacenamiento son configurados por ingeniero en sistemas computacionales, ingeniero en sistemas.</li> </ul>

<p><b>Símbolo:</b> Nube</p> <p><b>Clasificación:</b> Objeto</p>
<p><b>Noción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es un entorno de <b>Ti</b> que permite controlar, administrar datos con recursos escalables en una red.</li> <li>▪ La nube es controlada por el ingeniero en sistemas computacionales.</li> </ul>
<p><b>Impacto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La nube permite administrar los datos obtenidos de los dispositivos de recolección.</li> <li>▪ La nube recibe datos a través de los dispositivos de comunicación.</li> <li>▪ La nube ofrece servicios de <b>infraestructura, plataformas de desarrollo y software.</b></li> </ul>

<p><b>Símbolo:</b> Interfaz de usuario de la aplicación informática</p> <p><b>Clasificación:</b> Objeto</p>
<p><b>Noción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es diseñada y desarrollada por el ingeniero en Sistemas Computacionales.</li> <li>▪ Contiene un menú de acciones.</li> <li>▪ Puede estar implementada en una computadora o dispositivo inteligente o en la nube.</li> </ul>
<p><b>Impacto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La Interfaz de usuario permite al usuario monitorear los datos obtenidos por el dispositivo de recolección y los datos generados de la nube.</li> <li>▪ La Interfaz de usuario facilita la visualización y ubicación virtual de los dispositivos de recolección, almacenamiento y comunicación.</li> <li>▪ Muestra el estado actual de todos los dispositivos.</li> </ul>

<p><b>Símbolo:</b> Interfaz de dispositivo</p> <p><b>Clasificación:</b> Objeto</p>
<p><b>Noción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es diseñado y desarrollado por el ingeniero en Sistemas Digitales.</li> <li>▪ Es implementado en los dispositivos de recolección.</li> <li>▪</li> </ul>
<p><b>Impacto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La interfaz de dispositivo permite configurar las tareas del dispositivo</li> <li>▪ Muestra los datos obtenidos en tiempo real.</li> <li>▪ Muestra el estado actual del dispositivo.</li> </ul>

<p><b>Símbolo:</b> Protocolo de comunicación</p> <p><b>Clasificación:</b> Objeto</p>
<p><b>Noción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Son utilizados por los dispositivos de comunicación, recolección y almacenamiento.</li> <li>▪ Son configurados en cada dispositivo.</li> <li>▪ Son seleccionados e implementados por el ingeniero en Sistemas Digitales y el ingeniero en Sistemas Computacionales.</li> </ul>
<p><b>Impacto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Permiten la interacción y transferencia de datos entre dispositivos.</li> </ul>

<p><b>Símbolo:</b> Análisis de datos</p> <p><b>Clasificación:</b> Verbo</p>
<p><b>Noción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El análisis de datos es realizado por el ingeniero en sistemas computacionales o el ingeniero en sistemas digitales.</li> <li>▪ El análisis de datos se aplica a los datos recolectados por los dispositivos de recolección.</li> <li>▪ El análisis de datos puede ser efectuado en la nube o en los dispositivos de recolección.</li> <li>▪ El análisis de datos se puede aplicar en lapsos de tiempo determinado.</li> </ul>
<p><b>Impacto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El análisis de datos genera datos de interés.</li> <li>▪ El análisis de datos utiliza procedimientos para eliminación de datos no útiles.</li> <li>▪ El análisis de datos revela patrones de conducta de los datos recolectados.</li> </ul>

<p><b>Símbolo:</b> Transferencia de datos entre dispositivos</p> <p><b>Clasificación:</b> Verbo</p>
<p><b>Noción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se realiza entre los dispositivos de la red.</li> <li>▪ Utiliza protocolos de comunicación.</li> </ul>
<p><b>Impacto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se envían y reciben datos en un lapso determinado por el ingeniero de Sistemas.</li> </ul>

<p><b>Símbolo:</b> Procesamiento de datos</p> <p><b>Clasificación:</b> Verbo</p>
<p><b>Noción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es el procedimiento en el cual los datos obtenidos son analizados con el fin de producir información significativa.</li> <li>▪ Puede ser realizado por los dispositivos de recolección o por computo en la nube.</li> </ul>
<p><b>Impacto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Obtiene información significativa de entre un volumen de datos.</li> <li>▪ Descarta datos no necesarios determinados por el ingeniero en Sistemas Computacionales.</li> <li>▪ Una vez procesados los datos se muestran los resultados a la interfaz del usuario.</li> </ul>

<p><b>Símbolo:</b> Manejo de datos</p> <p><b>Clasificación:</b> Verbo</p>
<p><b>Noción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es el procediendo en el cual los datos obtenidos mediante los dispositivos de recolección o después del procesamiento son identificados, estructurados, organizados y ordenados entorno a su importancia.</li> <li>▪ Se pueden realizar operaciones de manejo de datos en la interfaz del usuario o <b>en la nube</b>.</li> <li>▪ El ingeniero en Sistemas computacionales es el encargado del manejo de los datos.</li> </ul>
<p><b>Impacto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se organiza la información según su relevancia para el usuario.</li> <li>▪ Se puede almacenar, procesar, generar o informes acerca los datos obtenidos.</li> <li>▪ Los datos no necesarios pueden ser eliminados o almacenados.</li> </ul>

<p><b>Símbolo:</b> Realizar recolección de datos del entorno físico.</p> <p><b>Clasificación:</b> Verbo</p>
<p><b>Noción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es el procedimiento en el cual los dispositivos de recolección obtienen datos reales del entorno físico.</li> <li>▪ Es realizada por los dispositivos de recolección.</li> <li>▪ El ingeniero en Sistemas Digitales configura el dispositivo de recolección.</li> <li>▪ El ingeniero en Sistemas Computacionales determina que datos se deben recolectar.</li> </ul>
<p><b>Impacto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El dispositivo recolección obtiene los datos asignados por el ingeniero en Sistemas computacionales.</li> <li>▪ Descarta datos no establecidos en los parámetros de recolección.</li> </ul>

## Anexo 4. Modelo conceptual

Modelo conceptual diseñado para el marco de referencia propuesto.

